

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-281372

(43) 公開日 平成11年(1999)10月15日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

P I

G 0 1 C 19/56

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

G 0 1 P 9/04

15/14

15/14

審査請求 未請求 請求項の数58 F D (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願平10-306434

(22) 出願日 平成10年(1998)10月14日

(31) 優先権主張番号 特願平9-316634

(32) 優先日 平9(1997)11月4日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平10-32297

(32) 優先日 平10(1998)1月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市中区瑞穂区須田町2番56号

(72) 発明者 菊池 尊行

愛知県名古屋市中区瑞穂区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 郷治 庄作

愛知県名古屋市中区瑞穂区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 大杉 幸久

愛知県名古屋市中区瑞穂区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(74) 代理人 弁理士 杉村 曉秀 (外8名)

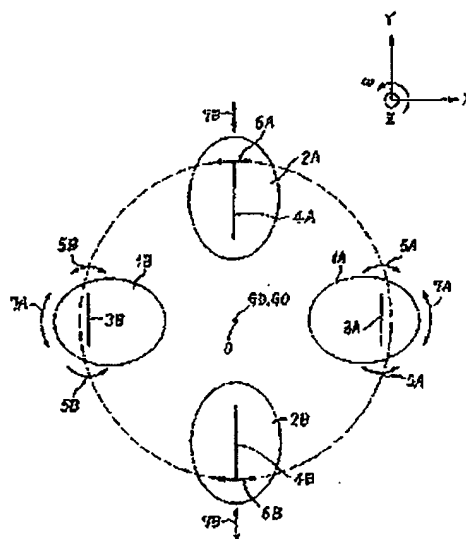
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動子、振動型ジャイロスコープ、直線加速度計および回転角速度の測定方法

(57) 【要約】

【課題】特に所定面内に延びる振動子に対して、この所定平面内の回転を与えたときに、この回転の角速度を検出できるような、新しい振動型ジャイロスコープを提供する。

【解決手段】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープは、振動子と、振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、振動子の回転によって振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備える。振動子は、少なくとも複数の振動系1A、1B、2A、2Bを備えており、複数の振動系が回転軸Zに対して交差する所定面内に延びるように形成されている。複数の振動系が、振動子の重心Gを中心としたときに所定面内で径方向に振動する径方向振動成分を含む第一の振動系1A、1Bと、振動系の振動の重心が重心Gを中心としたときに所定面内で周方向に振動する周方向振動成分を含む第二の振動系2A、2Bとを備えている。



(2)

特開平 11-281372

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】所定の回転軸を中心として回転させるための振動子であって、この振動子が少なくとも複数の振動系を備えており、これら複数の振動系が前記回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、前記振動系が、前記振動系の振動の重心が前記振動子の重心を中心としたときに前記所定面内で径方向に振動する径方向振動成分を含む第一の振動系と、前記振動系の振動の重心が前記振動子の重心を中心としたときに前記所定面内で周方向に振動する周方向振動成分を含む第二の振動系とを備えていることを特徴とする、振動子。

【請求項 2】前記回転軸が前記所定面に対して直交していることを特徴とする、請求項 1 記載の振動子。

【請求項 3】前記振動子が基部を備えており、この基部内に前記振動子の重心が位置しており、前記第一の振動系と前記第二の振動系との少なくとも一方が前記基部の周縁部から延びていることを特徴とする、請求項 1 または 2 記載の振動子。

【請求項 4】前記第一の振動系と前記第二の振動系とがそれぞれ前記振動子の重心から見たときに前記基部の周縁部から放射状に延びていることを特徴とする、請求項 3 記載の振動子。

【請求項 5】前記振動子が枠部を備えており、この枠部の内側に中空部が形成されており、前記枠部の内側に前記第一の振動系と前記第二の振動系との少なくとも一方が延びていることを特徴とする、請求項 1-3 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 6】前記第一の振動系が複数設けられており、これらの第一の振動系が前記振動子の重心を中心として互いに回転対称の位置に設けられていることを特徴とする、請求項 1-5 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 7】前記第一の振動系が複数設けられており、すべての前記第一の振動系の振動の全体の重心が前記振動子の重心の近傍領域内にあることを特徴とする、請求項 1-6 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 8】前記第一の振動系がそれぞれ第一の屈曲振動片を備えており、この屈曲振動片の振動が少なくとも前記径方向振動成分を含んでいることを特徴とする、請求項 1-7 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 9】前記第一の屈曲振動片の両端が保持されていることを特徴とする、請求項 8 記載の振動子。

【請求項 10】前記第一の振動系中に前記第一の屈曲振動片が複数設けられていることを特徴とする、請求項 8 記載の振動子。

【請求項 11】前記第一の振動系が、前記基部から突出する支持部を備えており、前記第一の屈曲振動片が、前記支持部に対して直交する方向に向かって延びていることを特徴とする、請求項 8-10 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 12】前記第一の振動系が、前記枠部から内側へと向かって突出する支持部を備えており、前記第一の屈曲振動片が、前記支持部に対して直交する方向に向かって延びていることを特徴とする、請求項 8-10 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 13】複数の前記第一の振動系が連結部によって連結されており、各第一の振動系および前記連結部によって前記振動子の重心を包囲する環状の振動系が形成されていることを特徴とする、請求項 1-12 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 14】前記第二の振動系が複数設けられており、これらの第二の振動系が前記振動子の重心を中心として互いに回転対称の位置に設けられていることを特徴とする、請求項 1-13 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 15】前記第二の振動系が複数設けられており、すべての前記第二の振動系の振動の全体の重心が一定の領域内にあることを特徴とする、請求項 1-14 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 16】前記第二の振動系がそれぞれ第二の屈曲振動片を備えており、この屈曲振動片の振動が少なくとも前記周方向振動成分を含んでいることを特徴とする、請求項 1-15 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 17】前記第二の屈曲振動片が、前記基部の周縁部から前記振動子の重心を中心として径方向に突出していることを特徴とする、請求項 16 記載の振動子。

【請求項 18】前記第二の屈曲振動片が、前記枠部から前記振動子の重心の方へと向かって突出していることを特徴とする、請求項 16 記載の振動子。

【請求項 19】前記振動子が前記所定面と平行な一対の主面と側面とを備えており、この側面にその長手方向に延びる突起が設けられており、この突起の前記側面からの高さが前記振動子の厚さの  $1/3-1/7$  倍であることを特徴とする、請求項 1-18 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 20】前記振動子が前記所定面と平行な一対の主面と側面とを備えており、前記基部の前記側面にその長手方向に延びる突起が設けられていることを特徴とする、請求項 3-19 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 21】前記振動子が前記所定面と平行な一対の主面と側面とを備えており、前記支持部の前記側面にその長手方向に延びる突起が設けられていることを特徴とする、請求項 11-20 のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項 22】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、請求項 1-21 のいずれか一つの請求項に記載の振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段であって、前記第一の振

(3)

特開平11-281372

3

4

動系と前記第二の振動系との一方に設けられている励振手段と、前記振動子の回転によって前記振動子に発生した検出振動を検出する検出手段であって、前記第一の振動系と前記第二の振動系との他方に設けられている検出手段とを備えていることを特徴とする。振動型ジャイロスコープ。

【請求項23】前記振動子の検出振動の際の最小振幅領域内で前記振動子を支持する支持部材を備えていることを特徴とする。請求項22記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項24】前記振動子が前記基部を備えており、この基部内の前記振動子の重心の近傍領域内で前記振動子が支持されていることを特徴とする。請求項23記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項25】前記振動子が前記枠部を備えており、この枠部で前記振動子が支持されていることを特徴とする。請求項23記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項26】前記振動子が、前記第一の振動系から前記振動子の重心に対して遠ざかる方向に位置する固定片部を備えており、この固定片部で前記振動型ジャイロスコープが支持されていることを特徴とする。請求項23記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項27】前記振動子が圧電性単結晶からなり、前記励振手段および前記検出手段が共に電極からなることを特徴とする。請求項22-26のいずれか一つの請求項に記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項28】前記第一の振動系が前記第一の屈曲振動片を備えており、第一の屈曲振動片にその長手方向に向かって延びる凹部ないし貫通孔が設けられていることを特徴とする。請求項22-27のいずれか一つの請求項に記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項29】前記第二の振動系が前記第二の屈曲振動片を備えており、第二の屈曲振動片にその長手方向に向かって延びる凹部ないし貫通孔が設けられていることを特徴とする。請求項22-28のいずれか一つの請求項に記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項30】前記第一の屈曲振動片または前記第二の屈曲振動片の前記凹部または前記貫通孔に面する内側面に前記電極が設けられており、この電極によって前記の各屈曲振動片に対して前記所定面の面内方向に電圧を印加できるように構成されていることを特徴とする。請求項28または29記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項31】前記第一の振動系が前記第一の屈曲振動片を備えており、第一の屈曲振動片のうち前記励振手段または前記検出手段よりも先端側に凹部または貫通孔が設けられていることを特徴とする。請求項22記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項32】前記第二の振動系が前記第二の屈曲振動片を備えており、第二の屈曲振動片のうち前記励振手段または前記検出手段よりも先端側に凹部または貫通孔が

設けられていることを特徴とする。請求項22または31記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項33】基部と、この基部の周縁部から放射状に延びる複数の互いに分離された振動系とを備えており、前記基部および前記振動系が所定平面内に延びていることを特徴とする。振動子。

【請求項34】前記振動子が所定の回転軸を中心として回転させるための振動子であり、前記回転軸が前記所定平面に対して直交していることを特徴とする。請求項33記載の振動子。

【請求項35】前記基部内に前記振動子の重心が位置しており、この振動子の重心から見たときに、前記基部の前記周縁部から、前記の各振動系がそれぞれ30°以上離れた方向に向かって延びていることを特徴とする。請求項33または34記載の振動子。

【請求項36】前記複数の振動系のうち一つ以上の振動系が、前記振動子の重心を中心としたときに径方向に振動する径方向振動成分を含む第一の振動系であることを特徴とする。請求項33-35のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項37】前記第一の振動系が複数設けられており、各第一の振動系が前記振動子の重心を中心として互いに回転対称の位置に設けられていることを特徴とする。請求項36記載の振動子。

【請求項38】前記複数の振動系のうち一つ以上の振動系が、前記基部を中心としたときに周方向に向かって振動する周方向振動系を含む第二の振動系であることを特徴とする。請求項33-37のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項39】前記第二の振動系が複数設けられており、各第二の振動系が前記振動子の重心を中心として互いに回転対称の位置に設けられていることを特徴とする。請求項38記載の振動子。

【請求項40】前記振動子が前記所定面と平行な一対の主面と側面とを備えており、この側面にその長手方向に延びる突起が設けられており、この突起の前記側面からの高さが前記振動子の厚さの1/3-1/7倍であることを特徴とする。請求項33-39のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項41】前記振動子が前記所定面と平行な一対の主面と側面とを備えており、前記基部の前記側面にその長手方向に延びる突起が設けられていることを特徴とする。請求項33-40のいずれか一つの請求項に記載の振動子。

【請求項42】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、請求項33-41のいずれか一つの請求項に記載の振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段であって、前記複数の振動系のうち一つ以上に設けられている励振手段と、前記振動子の回転によって前記振動子に発生した検出振動

(4)

特開平11-281372

5

を検出する検出手段であって、前記複数の振動系のうち前記励振手段が設けられていない振動系に設けられている検出手段とを備えていることを特徴とする、振動型ジャイロスコープ。

【請求項43】前記励振手段が設けられている振動系が屈曲振動片を備えており、この屈曲振動片のうち前記励振手段よりも先端側に凹部または貫通孔が設けられていることを特徴とする、請求項42記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項44】前記検出手段が設けられている振動系が屈曲振動片を備えており、この屈曲振動片のうち前記検出手段よりも先端側に凹部または貫通孔が設けられていることを特徴とする、請求項42記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項45】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、前記振動子の回転によって前記振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、前記振動子が複数の振動系を備えており、これら複数の振動系が前記回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、これら複数の振動系のうち少なくとも一つに前記励振手段が設けられており、この励振手段が設けられていない振動系のうち少なくとも一つに前記検出手段が設けられていることを特徴とする、振動型ジャイロスコープ。

【請求項46】前記励振手段が複数の前記振動系に設けられており、これら前記励振手段が設けられている各振動系の全体の振動の重心が、前記振動子の重心の近傍領域内にあることを特徴とする、請求項45記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項47】前記励振手段が設けられている振動系が、前記振動子の重心を中心として回転対称の位置に存在していることを特徴とする、請求項45または46記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項48】前記励振手段が設けられている振動系の振動が、前記振動子の重心を中心としたときに径方向振動成分を含むことを特徴とする、請求項45-47のいずれか一つの請求項に記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項49】前記励振手段によって前記振動系に前記振動子の重心を中心としたときに径方向振動成分を励起し、前記振動型ジャイロスコープを回転させたときに前記径方向振動成分によってこの振動系に周方向のコリオリ力を生じさせ、このコリオリ力によって前記振動子に発生する振動を前記検出手段によって検出することを特徴とする、請求項45-48のいずれか一つの請求項に記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項50】前記励振手段によって前記振動系に前記振動子の重心を中心としたときに周方向振動成分を励起し、前記振動型ジャイロスコープを回転させたときに前

6

記周方向振動成分によってこの振動系に径方向のコリオリ力を生じさせ、このコリオリ力によって前記振動子に発生する振動を前記検出手段によって検出することを特徴とする、請求項45-48のいずれか一つの請求項に記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項51】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、前記振動子の回転によって前記振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、前記振動子が所定面内に延びており、前記振動子が複数の振動系を備えており、前記励振手段と前記検出手段とが別の振動系に設けられており、前記振動子に駆動振動を励起したときにこの駆動振動の全体の重心が前記振動子の重心の近傍領域内に位置することを特徴とする、振動型ジャイロスコープ。

【請求項52】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、前記振動子の回転によって前記振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、前記振動子が所定面内に延びており、前記振動子が複数の振動系を備えており、前記励振手段と前記検出手段とが別の振動系に設けられており、前記振動子に駆動振動を励起したときにこの駆動振動による変位が微小である微小変位部分内に前記振動子の重心が位置していることを特徴とする、振動型ジャイロスコープ。

【請求項53】前記振動子に検出振動を生じさせたときにこの検出振動による変位が微小である微小変位部分内に前記振動子の重心が位置していることを特徴とする、請求項52記載の振動型ジャイロスコープ。

【請求項54】回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、前記振動子の回転によって前記振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、前記振動子が所定面内に延びており、前記振動子が複数の振動系を備えており、前記励振手段と前記検出手段とが別の振動系に設けられており、前記振動子に検出振動を生じさせたときにこの検出振動による変位が微小である微小変位部分内に前記振動子の重心が位置していることを特徴とする、振動型ジャイロスコープ。

【請求項55】振動子を用いて回転系の回転角速度を検出する方法であって、前記振動子が少なくとも複数の駆動振動系と一つ以上の検出振動系とを備えており、これらの振動系が前記回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、この振動子を前記回転軸を中心として回転させ、この際前記複数の駆動振動系に同

(5)

特開平11-281372

7

8

時に駆動振動を励起させ、各駆動振動系の振動の少なくとも一部を相殺し、前記検出振動系において前記振動子の検出振動を検出することを特徴とする、回転角速度の測定方法。

【請求項56】振動子を用いて回転系の回転角速度を検出する方法であって、前記振動子が複数の振動系を備えており、これらの振動系が前記回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、この際前記振動子の重心を中心としたときに径方向振動成分を前記振動系の一つ以上に励起し、前記振動子が回転する際に前記径方向振動成分によって周方向のコリオリ力を生じさせ、このコリオリ力によって前記振動子に発生する振動を、他の振動系において検出することを特徴とする、回転角速度の測定方法。

【請求項57】振動子を用いて回転系の回転角速度を検出する方法であって、前記振動子が複数の振動系を備えており、これらの振動系が前記回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、この際前記振動子の重心を中心としたときに周方向振動成分を前記振動系の一つ以上に励起し、前記振動型ジャイロスコープが回転する際に前記周方向振動成分によって径方向のコリオリ力を生じさせ、このコリオリ力によって前記振動子に発生する振動を、他の振動系において検出することを特徴とする、回転角速度の測定方法。

【請求項58】直線加速度を検出するための直線加速度計であって、請求項1～21、33～41のいずれか一つの請求項に記載の振動子と、この振動子に直線加速度が加わったときに前記振動子に加わるニュートンの力による前記振動子の変形を検出するための検出手段とを備えることを特徴とする、直線加速度計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転系内の回転角速度を検出するために使用される角速度センサに用いられる振動子、振動型ジャイロスコープ、直線加速度計、および回転角速度の測定方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、回転系内の回転角速度を検出するための角速度センサとして、圧電体を用いた振動型ジャイロスコープが、航空機や船舶、宇宙衛星などの位置の検出用として利用されてきた。最近では、民生用の分野としてカーナビゲーションや、VTRやスチルカメラの手振れの検出などに使用されている。

【0003】このような圧電振動型ジャイロスコープは、振動している物体に角速度が加わると、その振動と直角方向にコリオリ力が生じることを利用している。そして、その原理は力学的モデルで解析される（例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、オーム社、第491～497頁）。そして、圧電型振動ジャイロスコープとしては、これまでに種々のものが提案されている。例え

ば、スペリー音叉型ジャイロスコープ、ワトソン音叉型ジャイロスコープ、正三角柱型音片ジャイロスコープ、円筒型音片ジャイロスコープ等が知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明者は、振動型ジャイロスコープの応用について種々検討を進めており、例えば自動車の車体回転速度フィードバック式の車両制御方法に用いる回転速度センサに振動型ジャイロスコープを使用することを検討した。こうしたシステムにおいては、操舵輪の方向自身は、ハンドルの回転角度によって検出する。これと同時に、実際に車体が回転している回転速度を振動ジャイロスコープによって検出する。そして、操舵輪の方向と実際の車体の回転速度を比較して差を求め、この差に基づいて車輪トルク、操舵角に補正を加えることによって、安定した車体制御を実現する。

【0005】しかし、上述した従来の圧電振動型ジャイロスコープは、いずれの例でも、振動子を回転軸に対して平行に配置（いわゆる縦置き）しなければ、回転角速度を検出することができない。しかし、通常、測定したい回転系の回転軸は、装着部に対して垂直である。従って、このような圧電振動型ジャイロスコープを実装する際、圧電振動型ジャイロスコープの低背化を達成すること、即ち、振動型ジャイロスコープを回転軸方向に見たときの寸法を減少させることができなかった。

【0006】近年になって、振動子を回転軸に対して垂直に配置（いわゆる横置き）しても、回転角速度を検出できる圧電振動型ジャイロスコープが、特開平8-128833号公報において提案されている。しかし、このような振動型ジャイロスコープにおいても、振動型ジャイロスコープを回転軸方向に見たときの寸法を減少させる上で限界があった。

【0007】本発明の課題は、特に所定面内に延びる振動子に対して、この所定面内の回転を与えたときに、この回転の角速度を検出できるような、新しい振動型ジャイロスコープを提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明に係る振動子は、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子であって、この振動子が少なくとも複数の振動系を備えており、これら複数の振動系が回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、振動系が、振動系の振動の重心が振動子の重心から見て所定面内で径方向に振動する径方向振動成分を含む第一の振動系と、振動系の振動の重心が振動子の重心から見て所定面内で周方向に振動する周方向振動成分を含む第二の振動系とを備えていることを特徴とする。

【0009】また、本発明は、基部と、この基部の周縁部から放射状に延びる複数の互いに分離された振動系とを備えており、基部および振動系が所定平面内に延びて

いることを特徴とする、振動子に係るものである。

【0010】また、本発明に係る振動型ジャイロスコープは、回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、前記の振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段であって、第一の振動系と第二の振動系との一方に設けられている励振手段と、振動子の回転によって振動子に発生した検出振動を検出する検出手段であって、第一の振動系と第二の振動系との他方に設けられている検出手段とを備えていることを特徴とする。

【0011】また、本発明の振動型ジャイロスコープは、振動子と、振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、振動子の回転によって振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、振動子が複数の振動系を備えており、これら複数の振動系が回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、これら複数の振動系のうち少なくとも一つに励振手段が設けられており、この励振手段が設けられていない振動系のうち少なくとも一つに検出手段が設けられていることを特徴とする。

【0012】また、本発明は、振動型ジャイロスコープであって、振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、振動子の回転によって振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、振動子が所定面内に延びており、振動子が複数の振動系を備えており、励振手段と検出手段とが別の振動系に設けられており、振動子に駆動振動を励起したときに、駆動振動の全体の重心が振動子の重心の近傍領域内に位置することを特徴とする。

【0013】また、本発明は、回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、振動子の回転によって振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、振動子が所定面内に延びており、振動子が複数の振動系を備えており、励振手段と検出手段とが別の振動系に設けられており、振動子に駆動振動を励起したときにこの駆動振動による変位が微小である微小変位部分内に振動子の重心が位置していることを特徴とする。

【0014】また、本発明は、回転系の回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、所定の回転軸を中心として回転させるための振動子と、この振動子に対して駆動振動を励振する励振手段と、振動子の回転によって振動子に発生した検出振動を検出する検出手段とを備えており、振動子が所定面内に延びており、振動子が複数の振動系を備えており、励振手段と検出手段とが別の振動系に設けられており、振動子に検出振動を生じさせたときにこの検出振動による変位が微小である微小変位部分内に振動子の重心が位置していることを

特徴とする。

【0015】また、本発明は、回転系の回転角速度を検出する方法であって、振動子が少なくとも複数の駆動振動系と一つ以上の検出振動系とを備えており、これらの振動系が回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、この振動子を回転軸を中心として回転させ、この際複数の駆動振動系に同時に駆動振動を励起させ、各駆動振動系の振動の少なくとも一部を相殺し、検出振動系において振動子の検出振動を検出することを特徴とする。

【0016】また、本発明は、回転系の回転角速度を検出する方法であって、振動子が複数の振動系を備えており、これらの振動系が回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、この際、振動子の重心を中心としたときに径方向振動成分を振動系の一つ以上に励起し、振動子が回転する際に径方向振動成分によって周方向のコリオリ力を生じさせ、このコリオリ力によって振動子に発生する振動を、他の振動系において検出することを特徴とする。

【0017】また、本発明は、回転系の回転角速度を検出する方法であって、振動子が複数の振動系を備えており、これらの振動系が回転軸に対して交差する所定面内に延びるように形成されており、この際、振動子の重心を中心としたときに周方向振動成分を振動系の一つ以上に励起し、振動型ジャイロスコープが回転する際に周方向振動成分によって径方向のコリオリ力を生じさせ、このコリオリ力によって振動子に発生する振動を、他の振動系において検出することを特徴とする。

【0018】本発明者は、振動型ジャイロスコープに使用できる振動子の振動原理について基礎研究を行ってきたが、この過程で、まったく新しい原理に基づく振動子および振動型ジャイロスコープを開発することに成功した。この点について、図1-図10の各模式図を参照しつつ、説明する。

【0019】ここで、Oは回転軸Zと振動子の所定面との交点（回転中心）である。GOは振動子の全体の重心（非振動時）であり、GDは駆動振動の重心である。重心GO、GDの周囲には、複数の振動系が存在する。以下、図1-図10においては、振動系が全部で4つ設けられている場合について説明するが、振動系の総数は種々変更できる。

【0020】図1に示すように、重心GO、GDの周囲には、第一の振動系1Aと第二の振動系1Bとが、互いに回転対称の位置に設けられている。各振動系1A、1Bは、共に重心GOを中心としたときに径方向に振動する成分5A、5Bを有している。重心GOの周囲には更に第二の振動系2Aと2Bとが設けられており、これらは、共に重心GOを中心としたときに周方向に振動する成分6A、6Bを有している。

【0021】なお、周方向に振動する振動成分とは、重

(7)

特開平11-281372

11

心G Oから見て所定面内で円周方向に振動する振動成分のことを指している。径方向に振動する成分とは、重心G Oからみて所定面内で円の直径方向に振動する振動成分のことを指しており、つまり、重心G Oに対して遠ざかる方向と近づく方向とに対して交互に振動する成分のことを言う。

【0022】前記した第一の振動系と第二の振動系とは、すべて何らかの形で連結され、所定面内に延びる振動子を形成している。こうした振動子を、回転軸Zを中心として矢印ωのように回転させることで、回転角速度の検出を行える。

【0023】例えば、第一の振動系1 A、1 B内の各振動体3 A、3 Bを駆動振動体として使用し、径方向の振動成分5 A、5 Bを駆動振動体として使用した場合には、回転後にコリオリ力7 Aが作用し、これに対応して第二の振動系2 A、2 B内の振動体4 A、4 Bに、周方向の振動成分6 A、6 Bが発生する。この振動成分を検出し、この検出値から回転角速度を算出する。

【0024】また、第二の振動系内の各振動体4 A、4 Bを駆動振動体として使用し、周方向の振動成分6 A、6 Bを駆動振動体として使用した場合には、回転後にコリオリ力7 Bが作用し、これに対応して第一の振動系1 A、1 B内の振動体3 A、3 Bに、径方向の振動成分5 A、5 Bが発生する。この振動成分を検出し、この検出値から回転角速度を算出する。

【0025】このような振動子および振動型ジャイロスコープによれば、振動子の駆動振動および検出のための振動が、いずれも所定面内で行われ、振動子の振動アームが回転軸に対して交差する方向に延びるように、振動子を設置した場合にも、振動子から回転軸の方向に向かって一定重畳の突出部を設けることなく、十分に高い感度で回転角速度を検出できるようになった。

【0026】しかも、従来の振動型ジャイロスコープにおいては、いずれも駆動振動アームの駆動振動が、何らかの形で検出アームにも歪みとして影響を及ぼし、検出信号にノイズを発生させていた。しかし、本発明によれば、各駆動振動系と各検出振動系とは、重心G Oを中心として放射状に延びるように設けられており、駆動振動の影響が検出振動系に伝わりにくい形態となっている。即ち、駆動振動が軽微、相殺されていて、検出振動系には駆動振動の影響が伝達されにくい。この結果、検出信号に不可避的に発生していたノイズを、抑制ないし防止することができる。この点で、本発明は、振動型ジャイロスコープに内在していた根本的な問題点を解決したものである。

【0027】更に、図1または図6に示すように、例えば第一の振動系1 A、1 Bにおける径方向振動成分5 A、5 Bを駆動振動として使用した場合に、第一の振動系が重心G Oを中心として回転対称な位置に設けられており、この結果、各駆動振動が互いに相殺し合う。これ

12

によって、検出振動を検出するための第二の振動系に対する駆動振動の影響が小さくなる。

【0028】このように、本発明においては、第一の振動系を複数設け、各振動系を、重心G Oを中心として互いに回転対称の位置に設けることができる。例えば図1、図6においては、第一の振動系1 Aと1 Bとは、重心G Oを中心として二回対称の位置に設けられている。

【0029】また、第二の振動系を複数設け、各第二の振動系を、重心G Oを中心として互いに回転対称の位置に設けることが好ましい。例えば、図1、図6においては、第二の振動系2 Aと2 Bとは、重心G Oを中心として二回対称の位置に設けられている。

【0030】ここで、各振動系が重心G Oを中心として回転対称の位置にあるとは、重心G Oを中心として、問題とする複数の振動系がそれぞれ所定面内で同じ所定角度離れている状態を意味する。従って、一つの振動系を所定面内で所定角度回転させる操作を行うと、他の振動系の位置に位置する。例えば、図1、図6においては、第一の振動系1 Aと1 Bとは、180°離れているので、振動系1 Aを180°回転させる操作を行うと、振動系1 Bの位置にくる。

【0031】回転対称は、具体的には2回対称、3回対称、4回対称であることが好ましい。また、駆動振動系が、第一の振動系である場合も、第二の振動系である場合も、複数の駆動振動系を重心G Oを中心として回転対称の位置に設けることによって、特に比較的微小な検出振動への影響を抑制できることから、効果大きい。

【0032】特に駆動振動系（例えば第一の振動系1 A、1 B）の振動の全体の重心G Dが、重心G Oの近傍領域に位置していることが好ましく、これによって検出振動系（例えば第二の振動系）への影響を抑制できる。

これは、例えば図6に模式的に示すように、各振動系1 A、1 B内の振動体3 A、3 Bが径方向に振動する成分を有する場合に、これらの振動成分5 Aと5 Bとの振動の位相が逆になり、このために振動成分5 Aと5 Bとが相殺し合うことを意味している。

【0033】駆動振動の重心G Dが、振動子の重心G Oの近傍領域に位置しているとは、具体的には、実質的に重心G O上に位置していてもよいが、重心G Oから直径1 mmの円内に存在していることを意味する。

【0034】本発明の振動型ジャイロスコープにおいては、第一の振動系と第二の振動系との一方が駆動振動系であるときには、他方が検出振動系となる。本発明においては、特に駆動振動系が複数設けられていて、一つの駆動振動系に対して90°以上離れた位置に、他の駆動振動系が存在することが好ましく、複数の駆動振動系の間に検出振動系が設けられていることが好ましい。これによって、各駆動振動系の駆動振動が相殺しあい、検出振動系への影響が一層少なくなるからである。

【0035】本発明の振動子においては、複数の振動系

(8)

特開平11-281372

13

が所定面内に延びているが、これは厚さにして1mm以下の範囲内に複数の振動系が形成されている場合を含む。また、前記振動系以外の部分は、前記の所定面から突出することもありえるが、振動子の全体が所定面内に形成されていることが好ましい。

【0036】また、所定面と回転軸とがなす角度は、60-120度とすることが好ましく、85-95度とすることが好ましく、直交していることが一層好ましい。

【0037】本発明において、第一の振動系および第二の振動系の具体的形態は限定されない。好適な形態においては、各振動系は、それぞれ屈曲振動片を備えている。図2-図5を参照しつつ、主として屈曲振動片を使用した実施形態について説明する。

【0038】図2(a)においては、第一の振動系1A、1Bの中に、それぞれ前述の振動体3A、3B(図1参照)として、屈曲振動片13A、13Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれ中央部分に固定部8が設けられ、両端に開放端9が設けられている。この結果、各屈曲振動片13A、13Bは、それぞれ開放端側が固定部8を中心として振動する。これらの振動のうち、主として径方向振動成分5A、5Bを利用する。

【0039】図2(b)においては、第一の振動系1A、1Bの中に、屈曲振動片23A、23Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれその両端に固定部8が設けられて、拘束されている。この結果、各屈曲振動片23A、23Bの中央部分が大きく振動する。

【0040】図3においては、第一の振動系1A、1Bの中に、屈曲振動片33A、33Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれその一方の端部が拘束されており、他方の端部が開放されている。この結果、各屈曲振動片33A、33Bの他方の端部側が大きく振動する。この際、屈曲振動片33Aの振動と屈曲振動片33Bの振動とが互いに相殺しあうように、各振動の位相、振幅および各屈曲振動片における開放端の位置を選択する。

【0041】図4(a)においては、第一の振動系1A、1Bは図1に述べたものであるが、第二の振動系2A、2B中に、それぞれ屈曲振動片14A、14Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれ振動子の重心G Oに近い側に固定部8が存在しており、重心G Oから遠い側の端部が開放されている。この結果、各屈曲振動片14A、14Bの重心G Oから遠い方の端部が大きく周方向に振動する。

【0042】図4(b)においては、第一の振動系1A、1Bは図1に述べたものであるが、第二の振動系2A、2B中に、それぞれ屈曲振動片24A、24Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれ振動子の重心G Oから遠い側の端部に固定部8が存在しており、重心G Oに近い側の端部が開放されている。この結

14

果、各屈曲振動片24A、24Bの重心G Oに近い側の端部が大きく振動する。この振動も、主として周方向振動成分6A、6Bからなっているが、径方向振動成分も含んでいる。

【0043】図5(a)においては、第二の振動系2A、2B中に、それぞれ屈曲振動片34A、34Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれ中央部分に固定部8が設けられており、両端が開放されている。この結果、各屈曲振動片34A、34Bの両端が6A、6B、6C、6Dのように振動する。

【0044】図5(b)においては、第二の振動系2A、2B中に、それぞれ屈曲振動片44A、44Bが設けられている。本形態の屈曲振動片は、それぞれ両端に固定部8が設けられている。この結果、各屈曲振動片44A、44Bの中央部分が大きく振動する。

【0045】なお、図1においては、回転中心(回転軸と所定面との交点)Oが、振動子の重心G Oおよび駆動振動の全体の重心G Dと一致しているが、図2-図6には特に回転中心Oを図示していない。なぜなら、回転中心Oが振動子の重心とは一致していない場合も、更には回転中心Oが振動子の外部に位置している場合も、基本的に本願発明の振動子は有用であり、本発明の振動型ジャイロスコープに使用できるからである。なぜなら、振動子が回転しているときに、回転中心Oと振動子の重心G Oとが一致していない場合の振動子の各部分の変位は、回転中心Oが振動子の重心G Oと一致している場合の振動子の各部分の変位(回転による振動子の各部分の変位)と、振動子の各部分の並進運動による変位とのベクトル和となる。そして、振動子の各部分の並進運動による変位については、コリオリ力は働かないので、振動型ジャイロスコープによって検出することなく消去できるからである。

【0046】本発明の一つの好適な形態においては、振動子が、基部と、この基部の周縁部から放射状に延びる複数の互いに分離された振動系とを備えており、基部および振動系が所定面内に延びている。または、基部内に振動子の重心G Oが位置しており、好ましくは第一の振動系と第二の振動系との少なくとも一方が基部から延びており、この場合には、第一の振動系と第二の振動系とを、それぞれ基部から放射状に延びるように形成できる。

【0047】これらの形態について、図7を参照しつつ、説明する。図7において、11は基部であり、基部11の周縁11aから、第一の振動系1Aと1B、および第二の振動系2A、2Bが放射状に突出している。

【0048】なお、本実施形態において、各振動系が基部の周縁から放射状に突出しているとは、正確に基部の中心から放射状に延びている必要はなく、基部の周縁から、振動子の重心G Oに対して遠ざかる方向に延びてい

15

【0049】第一の振動系は、例えば、基部の周縁部から径方向に突出する支持部と、この支持部に対して交差する方向に延びる屈曲振動片とを備えている。また、第二の振動系は、最も簡略な形態としては、基部の周縁部から径方向に突出する屈曲振動片からなる。この屈曲振動片に重畳部を設けることによって、屈曲振動片の全体の寸法を短くすることもできる。

【0050】また、本発明の振動子に枠部を設け、この枠部の内側に中空部を形成し、枠部の内側に、第一の振動系と第二の振動系との少なくとも一方が延びるようにすることかできる。図8-図10は、この実施形態に係るものである。

【0051】図8においては、枠部19の内側の中空部70内に基部11が設けられている。そして、枠部19の内側に第二の振動系2A、2Bが基部11の方へと向かって突出しており、第一の振動系1A、1Bは基部11の周縁から振動子の重心G0に対して遠ざかる方向へと延びている。

【0052】図9においては、枠部19の内側の中空部70内に基部11が設けられている。そして、枠部19の内側に第一の振動系1A、1Bが基部11の方へと向かって突出しており、第二の振動系2A、2Bは基部11の周縁から、振動子の重心G0に対して遠ざかる方向へと延びている。

【0053】図10においては、枠部19の内側の中空部70内に基部11が設けられていない。そして、枠部19の内側に第一の振動系1A、1Bおよび第二の振動系2A、2Bが、重心G0の方へと向かって突出している。各振動系における各径方向と周方向との各振動成分の比率は、以下が好ましい。

(A) 第一の振動系における径方向振動成分と周方向振動成分との振幅の大きさは、1:0-3とすることが好ましく、1:0-1とすることが更に好ましい。第二の振動系における径方向振動成分と周方向振動成分との振幅の大きさは、0-1:5とすることが好ましく、0-1:10とすることが更に好ましい。ただし、ここで言う各振動成分の各振幅は、対象とする振動系内に存在する、逆向きの振動を互いに相殺しない場合の各振動成分の各振幅を意味する。

(B) 第一の振動系における径方向振動成分と周方向振動成分との振幅の大きさは、5:0-1とすることが好ましく、10:0-1とすることが更に好ましい。第二の振動系における径方向振動成分と周方向振動成分との振幅の大きさは、0-1:5とすることが好ましく、0-1:10とすることが更に好ましい。ただし、ここで言う各振動成分の各振幅は、対象とする振動系内に存在する、逆向きの振動を互いに相殺した後に残る各振動成分の各振幅を意味する。

【0054】以下、本発明の更に具体的な実施形態について述べる。本発明の振動子の変位は、所定面内で生ず

(9)

特開平11-281372

16

る。このため、振動子の全体を、同一の圧電単結晶によって形成することができる。この場合には、まず圧電単結晶の薄板を作製し、この薄板をエッチング、研削により加工することによって、振動子を作製できる。振動子の各部分は、別の部材によってそれぞれ形成することもできるが、一体で構成することが特に好ましい。

【0055】平板形状の材料、例えば水晶等の圧電単結晶の平板状の材料から、エッチングプロセスによって振動子を形成する場合には、振動子の各屈曲振動片等の各構成片に特定形状の突起、例えば細長い突起が生成することがある。このような突起は、厳密には設計時に予定された振動子の対称性を低下させる原因となる。しかし、この突起は存在していても良く、突起の高さは小さい方が好ましいが、突起の高さが振動子の構成片の幅の1/5以下であれば一般に問題なく使用できる。他の製造上の原因による突起以外の非対称部分が振動子に存在する場合にも同様である。

【0056】なお、このように突起などが振動子に存在する場合には、この突起の一部をレーザー加工等によって削除することによって、または振動子の突起以外の部分をレーザー加工等によって削除することによって、駆動時に駆動振動系の重心が、振動子の重心の近傍領域内に位置するように、エッチング加工後に調整できる。

【0057】また、振動子の材質は特に限定するものではないが、水晶、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体 ( $\text{Li}(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$ ) 単結晶、ホウ酸リチウム単結晶、ラングサイト単結晶等からなる圧電単結晶を使用することが好ましい。

【0058】前記した単結晶の中では、 $\text{LiNbO}_3$  単結晶、 $\text{LiTaO}_3$  単結晶、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶が、電気機械結合係数が特に大きい。また、 $\text{LiNbO}_3$  単結晶と  $\text{LiTaO}_3$  単結晶とを比較すると、 $\text{LiTaO}_3$  単結晶の方が  $\text{LiNbO}_3$  単結晶よりも電気機械的結合係数が一層大きく、かつ温度安定性も一層良好である。

【0059】圧電単結晶を使用すると、検出感度を良好にすることができるとともに、検出ノイズを小さくできる。しかも、圧電単結晶を使用すると、温度変化に対して特に鈍感な振動子を作製でき、このような振動子は、温度安定性を必要とする車載用として好適である。この点について更に説明する。

【0060】音叉型の振動子を使用した角速度センサとしては、例えば特開平8-128833号公報に記載された圧電振動型ジャイロスコープがある。しかし、こうした振動子においては、振動子が2つの方向に向かって振動する。このため、振動子を特に圧電単結晶によって形成した場合には、圧電単結晶の2方向の特性を合わせることが必要である。しかし、現実には圧電単結晶には異方性がある。

50

(10)

特開平11-281372

17

18

【0061】一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。しかし、圧電単結晶は異方性を持っており、結晶面が変化すると、振動周波数の温度変化の度合いが異なる。例えば、ある特定の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数の温度変化がほとんどないが、別の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数が温度変化に敏感に反応する。従って、振動子が2つの方向に向かって振動すると、2つの振動面のうち少なくとも一方の面は、振動周波数の温度変化が大きい結晶面になる。

【0062】これに対して、本発明におけるように振動子の全体を所定面内で振動するようにし、かつ振動子を圧電単結晶によって形成することで、単結晶の最も温度特性の良い結晶面のみを振動子において利用できるようになった。

【0063】即ち、振動子の全体が所定平面内で振動するように設計されていることから、圧電単結晶のうち振動周波数の温度変化がほとんどない結晶面のみを利用して、振動子を製造することができる。これによって、きわめて温度安定性の高い振動型ジャイロスコープを提供できる。

【0064】本発明の振動子を圧電性材料によって形成した場合には、この振動子に駆動電極および検出電極を設ける。圧電性材料としては、圧電単結晶の他に、PZT等の圧電セラミックスがある。

【0065】また、本発明の振動子を、エリンバー等の恒弾性金属によって形成することもできる。この場合には、振動子の所定箇所に圧電体を取り付ける必要がある。

【0066】図11は、本発明の一実施形態に係る圧電単結晶製の振動子を備えた振動型ジャイロスコープを、概略的に示す平面図である。基部11Aは、振動子の重心G0を中心として、4回対称の正方形をしている。基部11Aの周縁部11aから、四方に向かって放射状に、二つの駆動振動系1A、1B（本例では第一の振動系）と検出振動系2A、2B（本例では第二の振動系）とが突出しており、各振動系は互いに分離されている。駆動振動系1Aと1Bとは重心G0を中心として2回対称であり、検出振動系2Aと2Bとは重心G0を中心として2回対称である。

【0067】駆動振動系1A、1Bは、基部11Aの周縁部11aから突出する支持部12A、12Bと、支持部12A、12Bの先端12b側から支持部に直交する方向に延びる第一の屈曲振動片13C、13Dを備えている。これらの屈曲振動片13C、13Dは、図2

(a)に示すように、その中央部分が拘束されており、両端が開放されている。第一の屈曲振動片は、更に詳細には屈曲振動片16A、16B、および16C、16D

からなる。各屈曲振動片には、それぞれ駆動電極15A、15Bが設けられている。検出振動系2A、2Bは、細長い周方向屈曲振動片14C、14Dからなり（図4(a)を参照）、各屈曲振動片には検出電極16A、16Bが設けられている。

【0068】この振動子の駆動振動の駆動モードを図12に示す。各屈曲振動片が支持部12A、12Bの先端部分12b付近を中心として屈曲振動していることがわかる。

【0069】この振動子の検出振動のモードを図13に示す。支持部12A、12Bが固定部12aを中心として周方向に屈曲振動し、これに対応して、検出振動系の屈曲振動片14C、14Dが屈曲振動していることがわかる。

【0070】また、本発明者は、図11の振動子について、駆動振動および検出振動モードが振動子の全体に及ぼす影響を調べるため、有限要素法による固有モード解析を実施した。そして、振動子を水晶によって作製し、振動子の各点の振動の振幅を、最大振動振幅点に対する比率の分布として求めた。

【0071】図12には、振動子の各点の駆動振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示し、図13には、振動子の各点の検出振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示している。図12および図13において、それぞれ色の異なる領域は、各別に異なる最大振動振幅点との比率の領域を示す。橙色の部分、振幅が最小の領域となる。

【0072】図12によると、各支持部12A、12Bの基部11Aに対する固定部12aの近辺では、各駆動振動系の振動に伴って引っ張り応力が加わり、変形が見られる。しかし、この変形の影響は、各駆動振動系1Aと1Bとが2回対称の位置に配置されていることから、基部内において互いに相殺し合う。このため、基部の中心付近、そして駆動振動系に挟まれた検出振動系2A、2Bにおいては、駆動振動による影響が見られなくなっている。

【0073】図13によると、各駆動振動系1Aと1Bとから基部に加わる影響が相殺し合っている。しかも、各検出振動系2A、2Bから基部に加わる影響も、各検出振動系が2回対称の位置に配置されていることから、基部内において互いに相殺し合う。この結果、基部の中心付近21A（図11および図13参照）においては、検出振動による影響が見られなくなっている。

【0074】従って、本発明の振動型ジャイロスコープにおいては、駆動振動の検出振動の振幅が最小の領域内において、振動子を支持し、固定する。これによって、コリオリの力により発生する検出振動を減衰させることなく効果的に発生させることができ、検出振動のQ値が高くなり、感度を上昇させることができる。コリオリの力により発生する検出振動は振動が小さいため、感度を

(11)

特開平11-281372

19

20

上昇させるためには、検出振動の振幅が最小の領域内で振動子を支持することが、特に効果的である。

【0075】そして、本例では、図12、図13から、駆動振動の振幅が最小の領域と検出振動の振幅が最小の領域とが、図11に示す21Aのように、基部の中央部分に局在していることが判明しているため、この領域21Aを支持し、固定する。この際、振動子を支持する具体的方法については特に限定せず、あらゆる支持方法、固定方法を採用できる。

【0076】例えば、圧電材料の接着方法として公知のあらゆる接着方法を使用できる。その一例として、領域21A内に所定の支持孔20Aを設け、支持孔20A内に何らかの支持具を挿入して振動子を固定できる。例えば、振動子を支持するための治具から支持具を突出させ、支持具を支持孔20A内に挿入し、固定できる。支持具を支持孔中に挿入し、固定する際には、支持具の表面にメタライズ層を設け、および／または支持孔20Aの内周面にメタライズ層を設け、次いで支持具と支持孔20Aの内周面とをハンダ付け又はロウ付けする。あるいは、支持具と支持孔20Aとの間に樹脂を配することにより、振動子を固定できる。

【0077】この支持孔20Aは、振動子を貫通していてもよく、また振動子を貫通していなくともよい。支持孔20Aが振動子を貫通する貫通孔である場合には、支持孔20Aに支持具を貫通させることもできるが、支持具を貫通させなくともよい。

【0078】また、振動子に支持孔を設けない場合には、振動子の領域21Aの表面および／または裏面に、支持具をハンダ付けしたり、あるいは樹脂によって接着できる。

【0079】また、本例の振動子および振動型ジャイロスコープにおいては、図11、図12におけるように、駆動振動時の振動子の微小変位部分内に振動子の重心G0が位置している。ここで、駆動振動時の振動子の微小変位部分とは、駆動振動時の最大振幅の1/1000以下の振幅を有する部分を言う。

【0080】また、本例の振動子および振動型ジャイロスコープにおいては、図11、図13におけるように、検出振動時の振動子の微小変位部分内に振動子の重心G0が位置している。ここで、検出振動時の振動子の微小変位部分とは、駆動振動時の最大振幅の1/1000以下の振幅を有する部分を言う。

【0081】第一の振動系においては、支持部の長手方向と各屈曲振動片の長手方向とは、必ずしも垂直である必要はないが、垂直であることが好ましい。

【0082】図14～図18は、いずれも、本発明において基部から各振動系が突出する実施形態に係る、振動子および振動型ジャイロスコープを概略的に示す平面図である。これらの各実施形態においては、いずれも励振手段および検出手段を図示省略しているが、これは前述

したような駆動電極および検出電極の他、公知の駆動手段、検出手段を採用できる。

【0083】図14の振動型ジャイロスコープの振動子においては、基部11Bは円形をしている。基部11Bの周縁部11aから、放射状に、四つの駆動振動系1A、1B、1C、1Dと二つの検出振動系2A、2Bとが突出している。各振動系は互いに分離されている。駆動振動系1A、1B、1C、1Dは重心G0を中心として4回対称であり、検出振動系2Aと2Bとは重心G0を中心として2回対称である。

【0084】各駆動振動系は、基部11Bの周縁部11aから径方向に向かって突出する支持部12A、12B、12C、12Dと、各支持部の先端12b側から支持部に直交する方向に延びる屈曲振動片13C、13D、13E、13Fを備えている。これらの屈曲振動片は、図2(a)に示すように、その中央部分が拘束されており、両端が開放されている。各屈曲振動片は、更に詳細には屈曲振動片16A、16B、16C、16D、16E、16F、16G、16Hからなる。各検出振動系2A、2Bは、細長い周方向屈曲振動片14C、14Dからなる。

【0085】この振動子の駆動振動の振動モードにおいては、各屈曲振動片が、各支持部の先端部分12b付近を中心として主として径方向に向かって屈曲振動している。検出振動の振動モードにおいては、各支持部12A、12B、12C、12Dが固定部12aを中心として矢印Cのように周方向に屈曲振動し、これに対応して、各検出振動系2A、2Bが矢印6A、6Bのように屈曲振動する。なお、図14においては、薄い線で検出モードの際の各部分の動きを示してある。

【0086】なお、図14において、21Bは、駆動振動の際の振幅が最小の領域と検出振動の際の振幅が最小の領域との重複領域であり、特に好ましくはこの領域21Bを前述のようにして支持し、固定する。

【0087】図15の振動型ジャイロスコープの振動子においては、基部11Cは、正三角形の中央部11dと、中央部11dの各片に連続している正方形の突出部11a、11b、11cからなる。この基部11は、振動子の重心G0を中心として3回対称の形状をしている。基部11Cの各突出部11a、11b、11cの周縁部11eから、放射状に、三つの駆動振動系1A、1B、1Cと、三つの検出振動系2A、2B、2Cとが突出している。各振動系は互いに分離されている。

【0088】駆動振動系1A、1B、1CはOを中心として3回対称であり、検出振動系2A、2B、2Cは、重心G0を中心として3回対称である。本実施形態では各検出振動系は重心G0から正確に放射状に延びてはいないが、基部の周縁部11eから見ると、周縁部から離れる方向へと放射状に延びている。

【0089】この振動子の駆動振動モードにおいては、

(12)

特開平11-281372

21

各屈曲振動片13C、13D、13Eが、各支持部の先端部分12b付近を中心として矢印5Aのように主として径方向に向かって屈曲振動する。振動子の検出振動のモードにおいては、各支持部12A、12B、12Cが固定部12aを中心として周方向に屈曲振動し、これに対応して、各検出振動系の各屈曲振動片14C、14D、14Eが矢印Fのように屈曲振動する。

【0090】基部11Cの中央部内には、駆動振動の際の振幅が最小の領域と検出振動の際の振幅が最小の領域との重複領域21Cが存在している。特に好ましくは、この領域21Cを前述のようにして支持し、固定する。例えばこの領域21C内に支持孔20Bを形成し、前述のようにこの支持孔20Bを利用して振動子を支持する。

【0091】図16の振動子においては、基部11Dは、4回対称の正方形をしており、その周縁部11aから、放射状に、2つの駆動振動系1A、1Bと、2つの検出振動系2A、2Bとが突出している。各振動系は互いに分離されている。

【0092】基部11D内には4つの支持孔20Cが設けられており、4つの支持孔の間に接続部分22が形成されている。各駆動振動系および各検出振動系の振動モードについては前述したとおりである。

【0093】図17の振動子の形態は、図11に示す振動子の形態と同じであるが、振動子の基部、駆動振動系および検出振動系を囲むように枠部19が形成されている。枠部19の内側面が接続部分25を通して基部11Aの四隅に対して接続されている。本発明の振動型ジャイロスコープにおいては、21Aを支持することも好ましいが、枠部19を支持することも好ましい。

【0094】図18の振動子においては、基部11Aの周縁部11aから、四方に向かって放射状に、2つの駆動振動系1A、1Bと2つの検出振動系2A、2Bとが突出しており、各振動系は互いに分離されている。駆動振動系1Aと1BとはOを中心として2回対称であり、検出振動系2Aと2Bとは振動子の重心GOを中心として2回対称である。

【0095】駆動振動系1A、1Bは、基部11Aの周縁部11aから突出する支持部12A、12Bと、各支持部の先端12b側から支持部に直交する方向に延びる屈曲振動片13I、13Jを備えている。各屈曲振動片13I、13Jは、図2(a)に示したように中央部分が固定されているものであり、屈曲振動片16I、16J、16K、16Lからなる。各駆動振動系は、更に、各径方向屈曲振動片の先端側に、各径方向屈曲振動片とは垂直に延びる屈曲振動片27A、27B、27C、27Dを備えている。

【0096】検出振動系2A、2Bは、それぞれ細長い周方向屈曲振動片14E、14F(図4(a)を参照)からなり、各周方向屈曲振動片14A、14Bには直置

22

部26A、26Bが設けられている。

【0097】この振動子の駆動振動のモードを図19(a)に示す。各屈曲振動片16I、16J、16K、16Lが矢印5A、5Bに示すように、先端部分12b付近を中心として屈曲振動し、これと同時に、各屈曲振動片27A、27B、27C、27Dが矢印Hのように屈曲振動する。

【0098】この振動子の検出振動のモードを図19(b)に示す。支持部12A、12Bが固定部12aを中心として周方向に屈曲振動し、これに対応して、屈曲振動片14E、14Fが矢印6C、6Dのように屈曲振動する。なお、突出部分28は、レーザー加工によって駆動振動の周波数を調整するための領域である。

【0099】本発明の振動型ジャイロスコープを構成する振動子は、前述した圧電材料や恒弾性合金の他に、シリコンマイクロマシンにおいて使用されるように、シリコン半導体プロセスによって形成することもできる。この場合には、振動子を駆動する際には、静電力等を利用する。

【0100】図20に係る振動子は、シリコン半導体プロセスによって作製されたものである。この振動子は、シリコン板に溝状の空隙を形成することによって得られている。振動子の形態それ自体は、図11に示したものとほぼ同様である。振動子の基部11Eは、重心GOを中心として4回対称の正方形をしている。基部11Eの周縁部11aから、四方に向かって放射状に、2つの駆動振動系1A、1Bと検出振動系2A、2Bとが突出しており、各振動系は互いに分離されている。

【0101】駆動振動系1A、1Bは、基部の周縁部11aから突出する支持部12A、12Bと、各支持部の先端12b側から支持部に直交する方向に延びる各屈曲振動片13K、13Lを備えている。各屈曲振動片13K、13Lは、屈曲振動片16M、16N、16P、16Qからなる。検出振動系2A、2Bは、細長い周方向屈曲振動片14G、14Hからなる。

【0102】各屈曲振動片16M、16N、16P、16Qの側面に、静電駆動電極30A、30C、30E、30Gが設けられており、枠29の各径方向屈曲振動片に対向する側面に、それぞれ静電駆動電極30B、30D、30F、30Hが設けられている。これらの電極によって各屈曲振動片を静電的に駆動する。

【0103】また、各周方向屈曲振動片14G、14Hの側面には、それぞれ静電検出電極31A、31Cが設けられており、枠29の各周方向屈曲振動片に対向する側面に、それぞれ静電駆動電極31B、31Dが設けられている。

【0104】静電検出電極のかわりに、特定の金属がドーピングされた半導体ドーピング領域を設け、この半導体ドーピング領域によってピエゾ抵抗素子を構成できる。この場合には、振動子が回転するときに、各周方向屈曲振

(13)

特開平11-281372

23

24

動片の各ビエゾ抵抗素子に加わる応力による抵抗値の変化を測定し、回転角速度の指標として検出する。なお、12aは支持部12の固定部分である。

【0105】図21は、他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。駆動振動系1A、1B、検出振動系2A、2Bおよびこれらの動作については、図11に示したものと同様である。この基部58の検出振動系側の2片の周縁58aから枠部32A、32Bが延びており、各枠部の中に各検出振動系が包囲されている。各枠部は、それぞれ、各検出振動系と平行に延びる接続部分32aと、振動子の支持、固定を行うための支持枠32bとを備えている。枠部32A、32Bの中で、駆動振動時および検出振動時の振幅が最小の領域を支持、固定する。

【0106】図22には、図21の振動子の各点の駆動振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示し、図23には、この振動子の各点の検出振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示している。

【0107】図22によると、各支持部12A、12Bの基部58に対する固定部12aの近辺では、各駆動振動系の振動に伴って引っ張り応力が加わり、変形が見られる。この影響は、枠部の接続部分32aにおいても若干見られる。しかし、これらの影響は相殺し合うために、基部の中心付近、屈曲振動片14C、14Dおよび枠部の支持枠32bにおいては、駆動振動による影響が見られなくなっている。

【0108】図23によると、各駆動振動系、各検出振動系から基部58に加わる影響は互いに相殺し合い、この結果、基部58の中心付近21Aにおいては、検出振動による影響が見られなくなっている。しかし、これだけではなく、支持枠32b内の領域21Dも振幅が最小となるので、この領域21Dを支持、固定することもできる。

【0109】また、本例の振動子および振動型ジャイロスコープにおいては、図21、図22におけるように、駆動振動時の振動子の微小変位部分内に振動子の重心G<sub>O</sub>が位置している。また、図21、図23におけるように、検出振動時の振動子の微小変位部分内に振動子の重心G<sub>O</sub>が位置している。

【0110】図24は、本発明の一実施形態に係る振動子を備えた振動型ジャイロスコープを、概略的に示す斜視図である。基部11Eは長方形をしている。基部11Eの周縁部から、放射状に、二つの駆動振動系1A、1B（本例では第一の振動系）と検出振動系2A、2B（本例では第二の振動系）とが突出しており、各振動系は互いに分離されている。駆動振動系1Aと1Bとは振動子の重心G<sub>O</sub>を中心として2回対称であり、検出振動系2Aと2Bとは重心G<sub>O</sub>を中心として2回対称である。

【0111】駆動振動系1A、1Bは、基部の周縁部か

ら突出する支持部35と、支持部に直交する方向に延びる第一の屈曲振動片23C、23Dを備えている。これらの屈曲振動片23C、23Dは、図2(b)に示すように、その両端部分がそれぞれ拘束されており、その中央部分が大きく振動する。好ましくは、各屈曲振動片23Cおよび23Dの振動の全体の重心G<sub>D</sub>が、振動子の重心G<sub>O</sub>上にあるか、又は重心G<sub>O</sub>の近傍領域内にあるように、各屈曲振動片を励振する。

【0112】図25の振動子においては、基部11Aの周縁部から、放射状に、二つの駆動振動系1A、1Bと検出振動系2A、2Bとが突出しており、各振動系は互いに分離されている。駆動振動系1Aと1Bとは振動子の重心G<sub>O</sub>を中心として2回対称であり、検出振動系2Aと2Bとは重心G<sub>O</sub>を中心として2回対称である。

【0113】駆動振動系1A、1Bは、基部の周縁部から突出する支持部12A、12Bと、各支持部の先端から支持部に直交する方向に延びる第一の屈曲振動片13C、13D（図2(a)参照）を備えている。各屈曲振動片13C、13Dは、屈曲振動片16A-16Dからなる。これらの屈曲振動片の外側に更に第一の屈曲振動片23C、23D（図2(b)参照）が設けられており、屈曲振動片13C、13Dと23C、23Dとが互いに接続され、枠および中空部36を形成している。屈曲振動片23C、23Dにおいては、その中央部分が矢印5A、5Bのように大きく振動する。この場合には、屈曲振動片13C、13D、23C、23Dの振動の全体の重心G<sub>D</sub>が、重心G<sub>O</sub>上にあるか、またはG<sub>O</sub>の近傍領域内にあるように、各屈曲振動片を励振する。

【0114】図26の振動子においては、基部11Aの周縁部から、放射状に、二つの駆動振動系1A、1Bと一つの検出振動系2Aとが突出しており、各振動系は互いに分離されている。駆動振動系1Aと1BとはG<sub>O</sub>を中心として2回対称である。各駆動振動系は、基部の周縁部から突出する支持部12A、12Bと、各支持部の先端から支持部に直交する方向に延びる第一の屈曲振動片13C、13D（図2(a)参照）を備えている。

【0115】一方、検出振動系2Aは前述したものであるが、重心G<sub>O</sub>を挟む反対側には、重量部37および固定片部38が設けられている。この場合において、駆動振動系の全体の重心が重心G<sub>O</sub>の近傍領域内であれば、検出振動系に対する影響は抑制され、この結果一つの検出振動系でもある程度正確な検出が可能になる。この場合には、検出振動系とは交点を挟む反対側の位置（ないし回転対称の位置）の延長線上において振動子を保持することが好ましい。

【0116】図27の振動子においては、駆動振動系1Aと1Bとについては前出したものと同じである。この振動子は、図8に示す類型に該当するものである。一方、検出振動系2A、2Bは、それぞれ基部11Aから突出する枠部19A、19Bを備えており、各枠部19

(14)

特開平11-281372

25

26

A、19Bから、重心Gの方へと向かって突出する第二の屈曲振動片24C、24Dを備えている。これらの各屈曲振動片24C、24Dは、図4(b)に示すように、GOから離れた方に固定部8があり、GOに近い側に開放端がある形態のものであり、矢印6A、6Bのように振動する。

【0117】図28の振動子においては、枠部19Cの内側に、二つの第一の振動系と二つの第二の振動系とが、それぞれ重心Gの方へと向かって形成されている。この振動子は、図10に示す類型に該当するものである。

【0118】各駆動振動系は、枠部19Cから重心Gの方へと向かって直線的に延びる支持部12C、12Dと、各支持部の先端から支持部に直交する方向に延びる第一の屈曲振動片13M、13N(図2(a)参照)を備えている。各屈曲振動片13M、13Nは、屈曲振動片16R、16S、16T、16Uからなる。

【0119】各検出振動系は、それぞれ枠部19Cから重心Gの方へと直線的に延びる第二の屈曲振動片24C、24Dを備えている。これらの各屈曲振動片24C、24Dは、図4(b)に示す形態のものである。

【0120】本発明においては、複数の第一の振動系を、振動子の重心に対して周方向に延びる連結部によって連結することによって、各第一の振動系および連結部によって交点を包囲する環状の振動系を形成することができる。

【0121】たとえば、図29の振動子においては、基部11Aの周縁部から、放射状に、二つの駆動振動系1A、1Bと検出振動系2A、2Bとが突出している。駆動振動系1Aと1BとはGOを中心として2回対称であり、検出振動系2Aと2BとはGOを中心として2回対称である。

【0122】駆動振動系1A、1Bは、基部の周縁部から突出する支持部12A、12Bと、各支持部の先端から支持部に直交する方向に延びる第一の屈曲振動片13P、13Q(図2(a)参照)を備えている。これらの屈曲振動片13P、13Qとが、連結部39A、39B、39C、39Dによって連結されており、各連結部および屈曲振動片13P、13Qによって、GOを中心とする環状の振動系71Aが形成されている。

【0123】図29に示す駆動振動モードにおいては、各屈曲振動片16A、16B、16C、16Dが矢印6A、6Bのように振動し、これに応じて各連結部が矢印1のように振動する。この振動子を回転させると、図30に示す検出振動の振動モードが誘起される。即ち、各駆動振動系は矢印A、Bのように周方向に振動し、これに対応して環状の振動系の全体が変形する。これに対してバランスをとるように、各検出振動系の屈曲振動片14C、14Dが矢印6A、6Bのように振動する。なお、40は各屈曲振動片14C、14Dに設けられてい

る重量部である。

【0124】図31-図35においては、基部が小さく、屈曲振動片と同じ程度の幅しかない例について述べる。

【0125】図31、図32においては、駆動振動系と検出振動系の支持部12A、12B、屈曲振動片13R、13S、14C、14Dは、前述したものと同じである。しかし、基部11Fは、支持部12A、12Bと屈曲振動片14C、14Dの交差部分に存在しており、これらと同じ幅を有している。

【0126】図31においては、支持部12A、12Bの先端側から更に重心Gから遠ざかる方向に、直線状の延設部41が設けられており、各延設部はそれぞれ固定片部42に連結されている。これらによって、一対の固定片部42の間で各駆動振動系1A、1Bは前述のように振動する。図32においては、固定片部および延設部は存在しない。

【0127】図33には、図32の振動子の各点の駆動振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示し、図34には、振動子の各点の検出振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示している。これらの図面の読み方は、図12、図13において示したものと同じである。

【0128】図33によると、振動子の検出振動系および支持部では駆動振動系の振動による歪みがほとんどみられないことがわかる。図34によると、各検出振動系が2回対称の位置に配置されていることから、基部11F内およびその近くでは、検出振動による影響が見られなくなっている。この結果、少なくとも基部11F内を保持することが好ましいことが分かる。

【0129】本例の振動子および振動型ジャイロスコープにおいては、図32、図33におけるように、駆動振動時の振動子の微小変位部分内に振動子の重心Gが位置している。また、図32、図34におけるように、検出振動時の振動子の微小変位部分内に振動子の重心Gが位置している。

【0130】図35の振動子では、基部11Fから、二つの検出振動系2A、2Bが延びている。これらの検出振動系はそれぞれ屈曲振動片44Cおよび44Dからなっている。屈曲振動片44C、44Dの先端側は、それぞれ連結部46を介して、屈曲振動片23C、23Dに連結されている。各屈曲振動片23C、23Dは、それぞれ駆動振動系1A、1Bを構成するものであり、屈曲振動片44C、44Dとは略平行に延びている。駆動振動系の各屈曲振動片23C、23Dおよびこれらの連結部46によって、重心Gを中心として一体的に振動する環状の振動系71Bが構成されている。

【0131】屈曲振動片23C、23Dは、図2(b)に示すように両端が固定されており、その中央部分が矢印5A、5Bのように大きく振動する。また、各屈曲振

(15)

27

動片44C、44Dは、図5(b)に示すように振動する。なお、本例では、基部の近くに形成されている突出部分45を固定片部として使用し、これらの固定片部を保持することもできる。

【0132】次に、各屈曲振動片を駆動し、あるいは各屈曲振動片の振動を検出する方法の一例について更に述べる。図36の振動子の動作は、図24の振動子とまったく同じである。ただし、この振動子の結晶軸の方向は、所定面の方向にa軸が延び、振動子に対して垂直な方向にc軸がある。こうした結晶軸の方向は、例えば水晶を使用した場合に該当する。

【0133】図36においては、駆動側の屈曲振動片23C、23Dに、それぞれ駆動電極15A、15Bを設ける。この断面図を図37(a)に示す。また、検出側の屈曲振動片14C、14Dには、それぞれ検出電極16A、16Bを設ける。この部分の断面図を図37(b)に示す。

【0134】また、本発明の振動子においては、各振動系の振動体、特に屈曲振動片に、その長手方向に向かって延びる貫通孔または凹部を設けることができる。これによって、屈曲振動片の振動の固有共振周波数を低下させ、駆動振動または検出のQ値を一層向上させることができる。図38～図41は、この実施形態に係る各振動型ジャイロスコープを示すものである。

【0135】図38においては、各屈曲振動片23C、23D、14C、14Dには、それぞれ、屈曲振動片の長手方向に延びる貫通孔47、48が形成されている。そして、各屈曲振動片23C、23Dには、図39

(a)に示すように、各貫通孔47の外側壁面に駆動電極49A、49Dが設けられており、内側壁面に駆動電極49B、49Cが設けられている。また、各屈曲振動片14C、14Dには、図39(b)に示すように、各貫通孔48の外側壁面に検出電極50A、50Dが設けられており、内側壁面に検出電極50B、50Cが設けられている。

【0136】本実施形態でも、水晶のように、所定平面内に三回対称軸のa軸を有する圧電単結晶板を使用している。各屈曲振動片では、図39(a)に示すように、外側面上の駆動電極49A、49Dが交流電源に接続されており、内側面上の駆動電極49B、49Cがアースされている。この結果、駆動電極49A-49Bの組み合わせと、駆動電極49C-49Dの組み合わせとの間では、電圧の印加方向が逆になるので、屈曲振動片が屈曲する。

【0137】また、検出側の屈曲振動片では、検出電極50A-50B側と50C-50D側との間で、発生する電界が逆方向になる。

【0138】そして、本実施形態におけるように、各屈曲振動片の各貫通孔において、各貫通孔の両側で、内側面と外側面とに一对の駆動電極を設けることで、1本の

特開平11-281372

28

屈曲振動片を屈曲させることができる。検出側においても同様である。これによって、最も駆動効率の高いa軸方向に電圧を印加して、屈曲振動片を駆動でき、またその振動を検出することができるようになった。

【0139】上述の実施形態においては、圧電単結晶のa軸の方向に電圧を印加することによって、各アームを駆動していた。これに対して、例えばニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶の場合には、例えば図40に示すように、紙面と平行な方向にa軸を配向させ、c軸が紙面に対して50°の角度をなすようにすることが、温度特性の観点からもっとも有利である。この場合には、紙面に対して垂直な方向に電圧を印加することで、各屈曲振動片を屈曲振動させる。

【0140】図40においては、タンタル酸リチウムの130°Y板を使用しており、c軸が振動子の主面に対して50°をなしている。この角度で振動子の温度特性がもっとも良好になる。駆動側の屈曲振動片23C、23Dには、それぞれ、屈曲振動片の長手方向に延びる貫通孔47が形成されている。検出側の屈曲振動片14C、14Dには、それぞれ、屈曲振動片の長手方向に延びる貫通孔48が形成されている。

【0141】図41(a)に示すように、各貫通孔47の両側の位置に、細長い駆動電極99A、99B、99C、99Dが設けられている。駆動電極99A-99Bと駆動電極99C-99Dとの間で、電圧の印加方向が逆相になるので、屈曲振動片が屈曲する。また、図41(b)に示すように、検出側の各屈曲振動片には、各貫通孔48の両側の位置に、細長い検出電極51A、51B、51C、51Dが設けられており、検出電極51A-51Bと検出電極51C-51Dとの間で、発生する電界が逆方向になる。

【0142】なお、前述した各例において、貫通孔47、48の代わりに、これらと同じ平面的形状を有する凹部を設けることもできる。即ち、各屈曲振動片において、貫通孔47、48を貫通させず、薄い壁を設けることもできる。

【0143】また、本発明の回転角速度の測定方法の好適な実施形態では、駆動振動を発生するために使用した電気信号を参照信号とし、駆動振動に伴って発生した、駆動振動と異なる振動モードを持つ振動を検出手段によって電気信号として取り出したときの信号を出力信号とすると、参照信号と出力信号の位相差を検出し、検出した位相差の変化に基づいて角速度を検出する。

【0144】図42は、こうした方法で使用する位相差検出装置の一例を示すブロック図である。

【0145】図42に示す位相差検出手段62において、出力信号は、AC増幅器61で増幅された後、位相差検出回路63に供給される。参照信号は、参照信号前処理回路64で波形等を整える前処理を行った後、同じく位

(15)

特開平 11-281372

29

相差検出回路63に供給される。位相差検出回路63では、供給された前処理済みの参照信号と出力信号との位相差を検出する。検出した位相差はローパスフィルタ65およびDC増幅器66に供給され、位相差の大きさに応じた大きさを持つ直流信号となる。上述した位相差検出手段62で求めた直流信号は、回転角速度検出回路67に供給される。回転角速度検出回路では、予め求めておいた直流信号の大きさと回転角速度との関係に基づき、回転角速度を求めている。

【0146】なお、上述した回路62では、出力信号と参照信号との位相差を直接数値として求めることができないため、位相差に応じた直流信号の大きさから回転角速度を求めているが、直接位相差を数値として求め、予め求めた位相差と回転角速度との関係に基づき、回転角速度を求めることもできる。

【0147】本発明の振動型ジャイロスコープは、こうした位相差を検出する方法に対して特に適合しており、位相差と回転角速度との間で高い直線性を得られることがわかった。ジャイロ信号と漏れ信号との比が、1:7以上となる領域、つまり漏れ信号の方が大きい領域において、特に位相差と回転角速度との間で極めて高い直線性が得られることが判明した。なお、漏れ信号が大きくなりすぎると、いかに圧電単結晶を使用しても、検出限界を越えてしまう。そのため、漏れ信号の上限は、振動型ジャイロスコープの検出感度に応じて決定される。

【0148】このように、ジャイロ信号に対して漏れ信号の方が大きい領域、特にジャイロ信号ともれ信号との比が、1:7以上となる領域において、検出感度が低下した場合にも、位相差と回転角速度との直線性はかえって向上する。

【0149】また、本発明の振動子を、2枚以上の圧電層を積層することによって、作製できる。この場合には、各圧電層の分極軸の方向は互いに異ならせることが好ましく、各圧電層の分極軸の方向がそれぞれ振動子の主面に対して直交していることが最も好ましい。

【0150】本発明の振動子を使用した直線加速度計によれば、振動子に駆動振動を与えたときの基部の伸縮振動によるノイズ信号が顕著に低減されているので、このノイズ信号の温度変化による誤差を防止することができる。

【0151】また、本発明の振動子を用いて、回転速度と直線加速度とを同時に計測するセンサーを作製することができる。本発明の振動子では、振動子に回転速度と直線加速度が同時に加わった場合、回転速度に対応する検出信号と、直線加速度に対応する信号とが同時に発生する。このときの検出信号のうち、駆動信号と同じ周波数の信号成分の振幅の変化が回転速度に比例しており、直流電圧信号成分の変化が直線加速度に比例している。

【0152】図43～図47は、本発明の更に他の例のジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。図43

30

の振動子は、基本的には図11に示す振動子と同様のものである。しかし、各駆動振動系1A、1Bの各支持部12E、12Fには、その長手方向に延びる貫通孔72が設けられている。これによって、各支持部の機械的剛性を低下させ得る。貫通孔72の代わりに、凹部を設けることができる。

【0153】図44のジャイロも、原理的には図11のジャイロと同様である。しかし、この振動子では、a軸がx軸方向であり、c軸が所定面に対して50°の角度をなしている。このため、駆動電極99A～99D、検出電極51A～51Dは、図40に示したものと同様である。更に、駆動振動系1A、1Bの各屈曲振動片16V、16W、16X、16Yは、それぞれ円弧状に湾曲している。

【0154】図45のジャイロは、基本的には図35のジャイロと同様である。ただし、各連結部46が各屈曲振動片44C、44Dと結合される部分では、振動子の外側へと向かって突起78A、78Bが設けられている。ただし、この突起78A、78Bは省略できる。また、各屈曲振動片44C、44Dは、基部11Hに連結されている。基部11Hは、略正方形の枠部74を備えており、枠部74の内側面から一対のブリッジ76A、76Bが延びており、各ブリッジの中間に中央部97が保持されている。中央部97中に重心GD、GB、GOが存在する。中央部97から更に空隙75A、75Bへと向かって突出部77A、77Bが突出している。72A、72Bは空隙であり、73はアールである。

【0155】本例では、各突起78A、78Bを支持でき、また中央部97を支持でき、または突出部77A、77Bを支持でき、これらによって支持による検出振動の感度への影響を最小限にできる。

【0156】図46のジャイロでは、各駆動振動系の各屈曲振動片23C、23Dが、それぞれ、一対の連結部80を介して屈曲振動片44C、44Dに連結されており、かつ環状振動系71Cを形成している。各連結部80は、X軸方向に延びる連結部80a、80cと、80aと80cとを連結する、Y軸方向に延びる連結部80bとを備えている。各屈曲振動片44C、44Dは、それぞれ基部11Aに対して結合されている。72A、72Bは空隙部である。

【0157】図47のジャイロでは、駆動振動系1A、1B、検出振動系2A、2B、基部11Aは、図11のジャイロと同様である。更に、駆動振動系1A、1Bの外側に、駆動振動系1E、1Fが設けられている。各振動系1E、1Fは、それぞれ屈曲振動片23C、23Dからなっており、各屈曲振動片23C、23Dの各末端が、連結部100を介して、各屈曲振動片44C、44Dの両末端に連結されている。

【0158】ジャイロの感度は、駆動振動と検出振動との各固有共振周波数の差によって、変化する。しかし、

31

温度が変化すると、各固有共振周波数が変化するため、その差も変化する。各固有共振周波数の差は、 $-30^{\circ}\text{C}$ – $80^{\circ}\text{C}$ において10%程度変化していた。このため、 $-30^{\circ}\text{C}$ – $80^{\circ}\text{C}$ において、各固有共振周波数の差を一定にすることが望まれる。

【0159】この問題を解決するためには、振動子が所定面と平行な一対の主面と側面とを備えているときに、側面にその長手方向に延びる突起を設け、この突起の側面からの高さを振動子の厚さの $1/3-1/7$ 倍（特に $1/4-1/5$ 倍）とすることが好ましい。また、この突起を屈曲振動片に設けた場合には、その屈曲振動片の長さを7mm以下、更には6mm以下とすることが特に好ましい。

【0160】本発明者は、屈曲振動片の本発明における駆動振動および検出振動の各固有共振周波数を、 $-30^{\circ}\text{C}$ – $80^{\circ}\text{C}$ において測定し、両者の差の $-30^{\circ}\text{C}$ – $80^{\circ}\text{C}$ における最大値と最小値とを図48にグラフ化した。ここで、屈曲振動片の長さは6、8、10mmとし、その厚さは0.3mmとし、その幅は1.0mmとし、その材質は石英とした。

【0161】図48の結果から判るように、屈曲振動片の長さを6mm以下とし、更に突起の高さを制御することによって、 $-30^{\circ}\text{C}$ – $80^{\circ}\text{C}$ における各共振周波数の差の最大値と最小値との差を、2.5Hz以下、更には2.0Hz以下に抑制でき、ジャイロの感度の変化を5%以下に抑制できた。

【0162】また、基部の側面に、その長手方向に延びる突起を設けることによって、駆動振動による検出振動への影響を一層減少させ得る。この際には、基部の重心に対して点対称となる位置に突起を設けることが、検出振動の歪みを抑制する上で有利である。

【0163】また、各駆動振動系または検出振動系が、屈曲振動片とその支持部とを備えている場合には、支持部の側面、好ましくは両側の側面に、その長手方向に延びる突起を設けることが好ましい。これによって、屈曲振動片の振動の基部への影響を低減できる。更に、検出振動系の少なくとも一方の側面に突起を設けることによって、振動子が回転していないときに、検出振動が駆動振動の影響を受けにくくなり、このときのノイズが減少する。

【0164】図49は、この実施形態に係るジャイロを示す。この振動子では、基部11Aの周縁部側面に突起90G、90I、90H、90Jが設けられており、これらの突起は基部11Aの重心に対して点対称の関係にある。また、各駆動振動系1A、1Bの各支持部12A、12Bの両側の各側面に、それぞれ突起90A、90B、90C、90Dが形成されている。更に検出振動系2A、2Bの各屈曲振動片14C、14Dの一方の側面には突起90E、90Fが形成されている。

【0165】また、振動子をエッチングによって製造す

(17)

特開平11-281372

32

る場合には、振動子が属する製造ロットによって、エッチングの時間やエッチング液の濃度にバラツキが生ずる。このバラツキによって、振動子の屈曲振動片の駆動振動、検出振動の各固有共振周波数の差にバラツキが生じ、このため振動子の感度にもバラツキが生ずる。これを防止するために、屈曲振動片のうち駆動手段または検出手段よりも先端側に凹部または貫通孔を設けることができる。

【0166】図50は、この実施形態に係るジャイロを概略的に示す平面図である。このジャイロは、基本的には図1に示すジャイロと同様のものである。ただし、各屈曲振動片16A、16B、16C、16D、14C、14Dにおいて、駆動電極または検出電極よりも先端側に、貫通孔91A、91B、91C、91Dが設けられている。各貫通孔ないし凹部は、各電極とは0.3mm以上離れて設けることが好ましい。

【0167】こうした貫通孔ないし凹部の作用効果について述べる。図51に示すように、屈曲振動片をエッチングによって作製する際には、実線で示す設計形状に対して、破線で示すようにエッチングが更に進行することがある。この際、その先端面101のエッチングが進行すると、屈曲振動片の質量が減少するので、共振周波数が上がる。一方、側面102のエッチングが進行すると、屈曲振動片が細くなることから、共振周波数が下がる。この結果、全体としては、側面102のエッチングの効果が大きくなる。

【0168】しかし、貫通孔91A–91Dを設けることによって、側面102のエッチングが破線のように進行したときに、貫通孔91A–91Dのエッチングも破線のように進行するために、屈曲振動片の先端側の質量が減少する。

【0169】例えば、屈曲振動片が水晶からなり、その長さが6mmであり、幅が1.0mmであり、厚さが0.3mmである場合、側面102が設計値よりも1μmエッチングされると、駆動、検出の各共振周波数の差が、設計値に対して約2.85Hz変化する。これに対して、長さ0.4mm、幅0.3mmの貫通孔91A–91Dを設けることによって、設計値に対して、共振周波数差が0.08Hzしか変化しない。

【0170】また、屈曲振動片の先端側に拡張部を設け、この拡張部に各貫通孔ないし凹部を設けることによって、貫通孔ないし凹部の前記効果を一層大きくでき、また貫通孔ないし凹部を小さくしても、前記の効果が得られる。

【0171】図52は、この実施形態に係るジャイロを示す。各屈曲振動片16A、16B、16C、16D、14C、14Dの各先端に、各屈曲振動片の幅よりも大きな幅を有する拡張部95、96を設け、各拡張部に各貫通孔91A、91B、91C、91Dが設けられている。

(18)

特開平11-281372

33

34

【0172】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、特に所定面内に延びる振動子に対して、この所定面内の回転を与えたときに、この回転の角速度を検出できるような、新しい振動型ジャイロスコープを提供することができ、

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の振動型ジャイロスコープの原理を模式的に説明する図である。

【図2】(a)、(b)は、それぞれ、第一の振動系における振動の態様を例示するための模式図である。

【図3】第一の振動系における振動の態様を例示するための模式図である。

【図4】(a)、(b)は、それぞれ、第二の振動系における振動の態様を例示するための模式図である。

【図5】(a)、(b)は、それぞれ、第二の振動系における振動の態様を例示するための模式図である。

【図6】本発明の振動子の駆動振動による重心Gの位置について説明する模式図である。

【図7】基部から放射状に各振動系が突出している、一実施形態に係る振動型ジャイロスコープの振動子を模式的に示す図である。

【図8】第一の振動系が基部から突出し、第二の振動系が幹部から内側へと突出している振動子を説明するための模式図である。

【図9】第二の振動系が基部から突出し、第一の振動系が幹部から内側へと突出している振動子を説明するための模式図である。

【図10】第一の振動系および第二の振動系が共に幹部から内側へと向かって突出する振動子を説明するための模式図である。

【図11】本発明の他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図12】図11の振動子の各点の駆動振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示す。

【図13】図11の振動子の各点の検出振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示す。

【図14】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図15】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図16】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図17】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図18】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図19】(a)は、図18の振動子の駆動モードを示す線図であり、(b)は、振動子の検出モードを示す線図である。

【図20】シリコン半導体プロセスによって成形した振動子を使用した振動型ジャイロスコープを概略的に示す平面図である。

【図21】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す平面図である。

【図22】図21の振動子の各点の駆動振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示す。

【図23】図21の振動子の各点の検出振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示す。

【図24】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図25】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図26】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図27】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図28】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図29】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図30】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図31】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図32】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図33】図32の振動子の各点の駆動振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示す。

【図34】図32の振動子の各点の検出振動モードにおける最大振動時の振幅の相対比率を示す。

【図35】本発明の更に他の実施形態に係る振動子を概略的に示す斜視図である。

【図36】図24の振動子の具体的形態を例示する斜視図である。

【図37】(a)、(b)は、図36の振動子において、駆動系または検出系の各屈曲振動片における電極の取り付け形態を示す断面図である。

【図38】図24の振動子の具体的形態を例示する斜視図である。

【図39】(a)、(b)は、図38の振動子において、駆動系または検出系の各屈曲振動片における電極の取り付け形態を示す断面図である。

【図40】図24の振動子の具体的形態を例示する斜視図である。

【図41】(a)、(b)は、図40の振動子において、駆動系または検出系の各屈曲振動片における電極の取り付け形態を示す断面図である。

【図42】本発明の測定方法で利用できる位相検出手段62の例を示すブロック図である。

(19)

特開平11-281372

35

【図43】本発明の他の実施形態に係るジャイロの概略斜視図であり、支持部に貫通孔が設けられている。

【図44】本発明の他の実施形態に係るジャイロの概略斜視図であり、駆動用の屈曲振動片が湾曲している。

【図45】本発明の他の実施形態に係るジャイロの概略斜視図である。

【図46】本発明の他の実施形態に係るジャイロの概略斜視図であり、環状振動系71Cが形成されている。

【図47】本発明の他の実施形態に係るジャイロの概略斜視図である。

【図48】屈曲振動片の長さ、およびその側面の突起の厚さに対する比率と、駆動および検出の各固有共振周波数との差の $-30^{\circ}\text{C}$ ～ $80^{\circ}\text{C}$ における最大値と最小値との差を示すグラフである。

【図49】本発明の他の実施形態に係るジャイロを示す平面図であり、振動子の側面に突起が形成されている。

【図50】本発明の他の実施形態に係るジャイロを示す平面図であり、各屈曲振動片の先端側に貫通孔が形成されている。

【図51】屈曲振動片のエッチングの進行の状況を説明するための模式図である。

【図52】本発明の他の実施形態に係るジャイロを示す\*

36

\*平面図であり、各屈曲振動片の先端側に拡張部が設けられており、拡張部内に貫通孔が形成されている。

【符号の説明】

1A、1B 第一の振動系      2A、2B 第二の振動系

3A、3B 径方向振動成分を含む振動体      4A、4B 周方向振動成分

を含む振動体      5A、5B、5C、5D 径方向振動成分

6A、6B 周方向振動成分      7A、7B コリオリ力の方向

10 11、11A、11B、11C、11D、11E、11F 基部      12A、12B 支持部

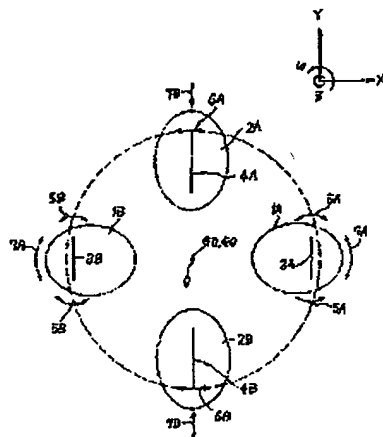
13A、13B、23A、23B、33A、33B 振動体3A、3Bの具体例である屈曲振動片      14A、14B、24A、24B、34A、34B、44A、44B 振動体4A、4Bの具体例である屈曲振動片

19、19A、19B 枠部      20A、20B、20C 支持孔      21A、21B、21C

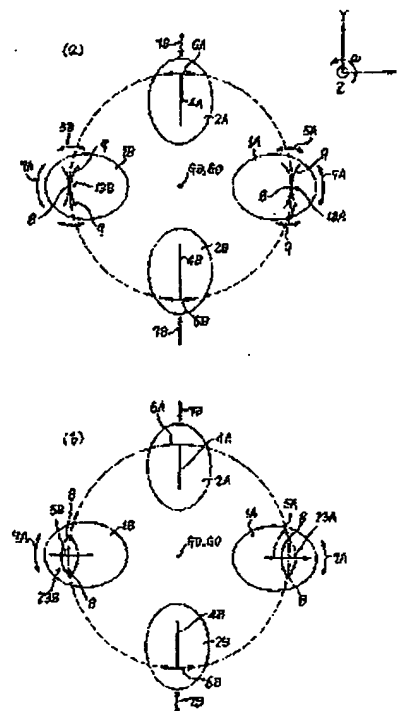
駆動振動の最小領域と検出振動の最小領域との重複領域

O 回転中心      G O 振動子の重心      G D 駆動系の振動全体の重心

【図1】



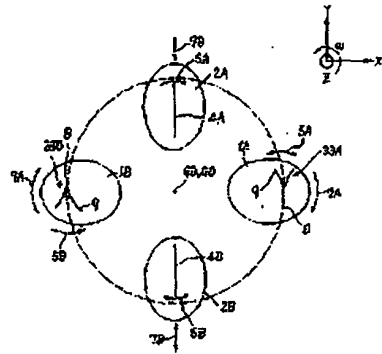
【図2】



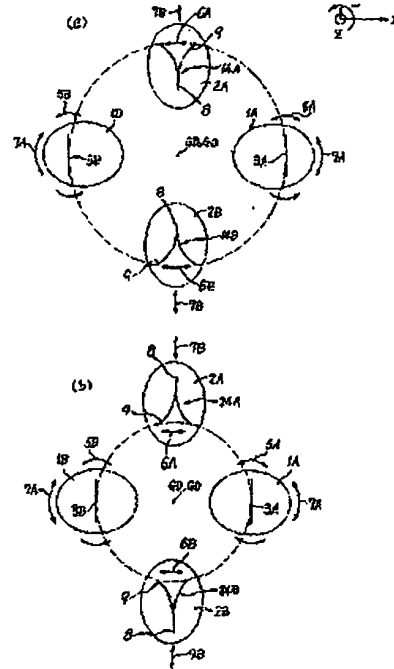
(20)

特開平11-281372

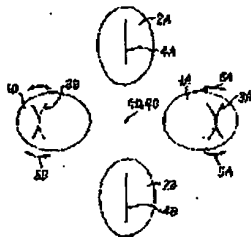
【図3】



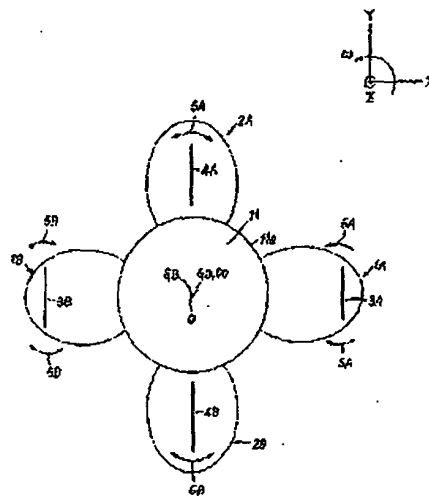
【図4】



【図6】



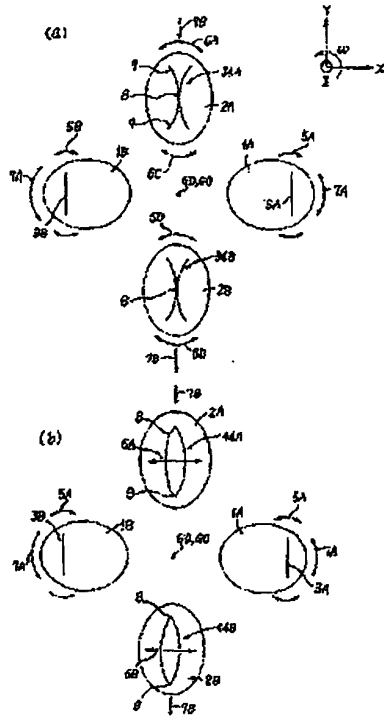
【図7】



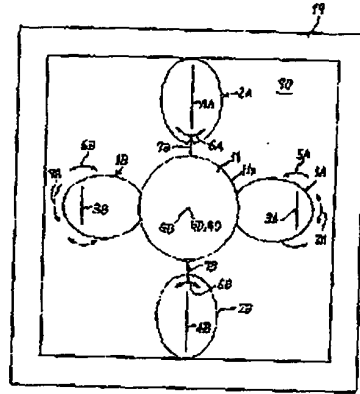
(21)

特開平11-281372

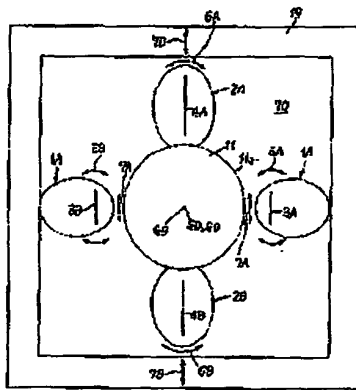
【図5】



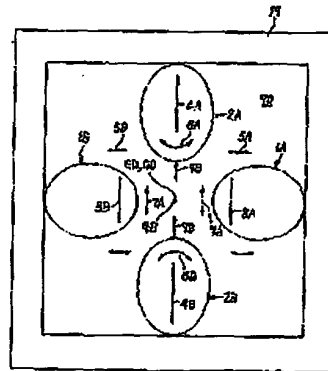
【図8】



【図9】



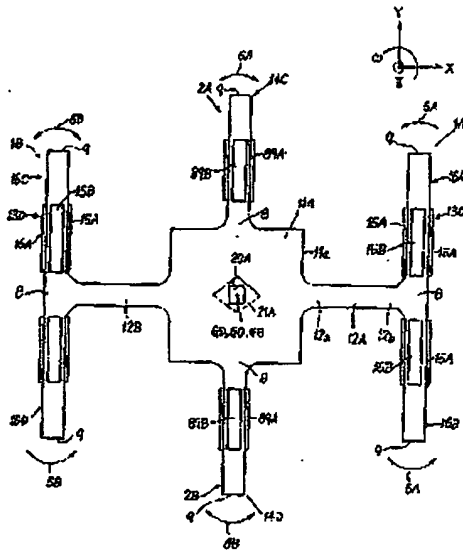
【図10】



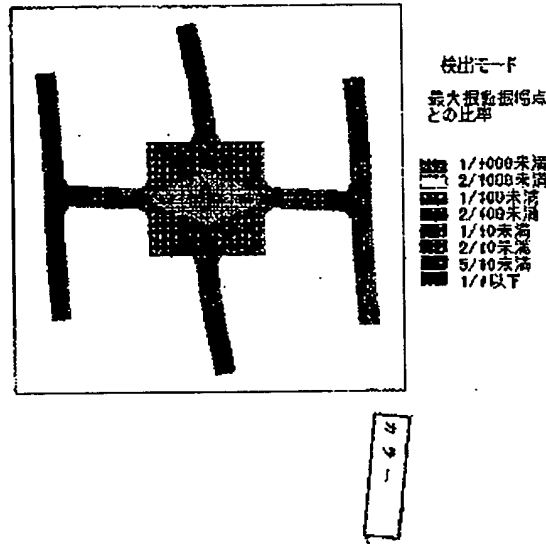
(22)

特開平11-281372

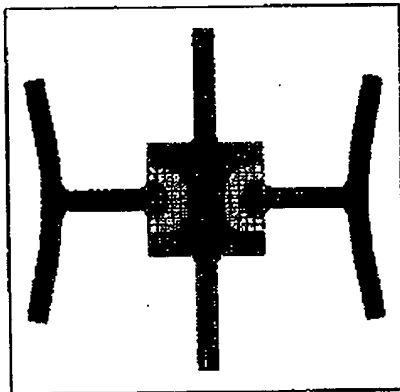
【図11】



【図13】



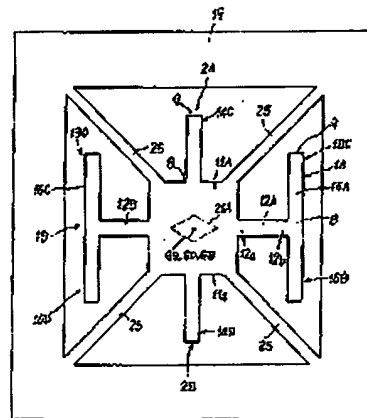
【図12】



駆動モード  
最大振幅振点  
との比率

1/1000未満
2/1000未満
1/100未満
2/100未満
1/10未満
2/10未満
5/10未満
1/1以下

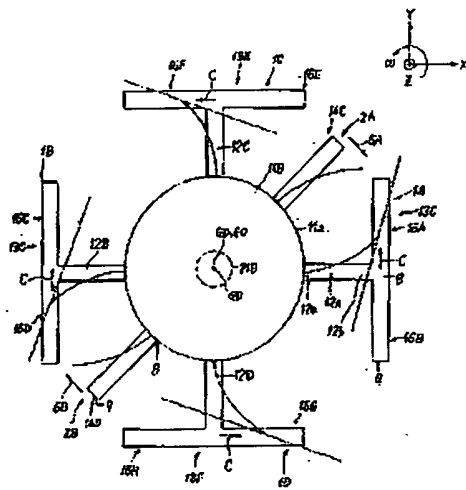
【図17】



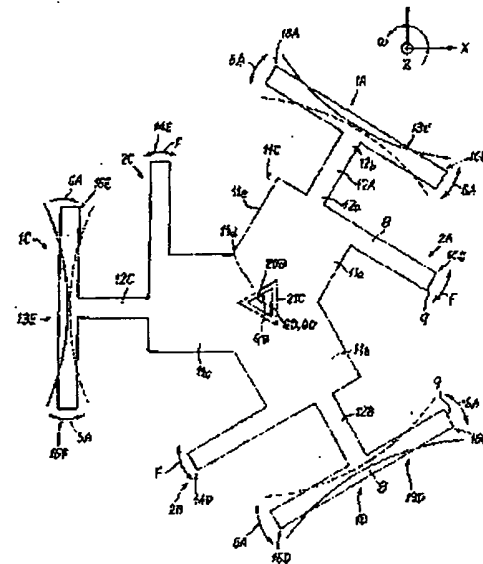
(23)

特開平11-281372

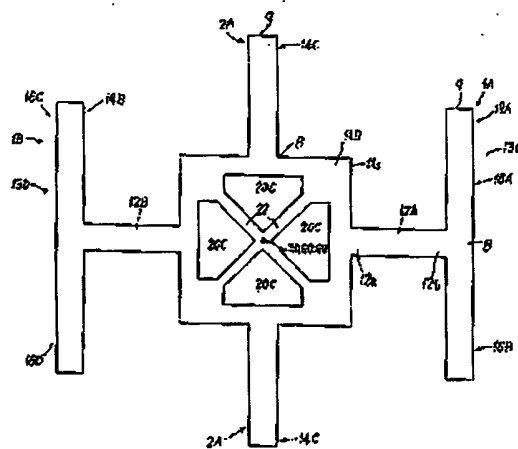
【図14】



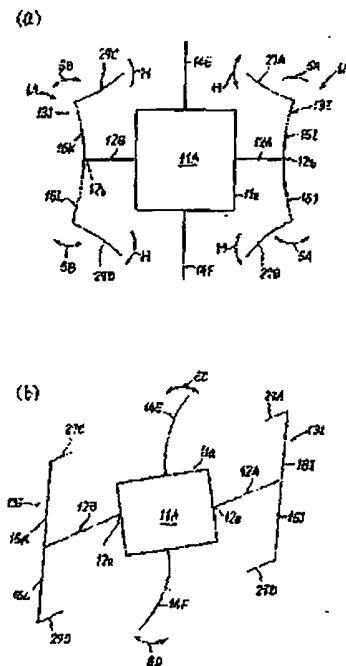
【図15】



【図16】



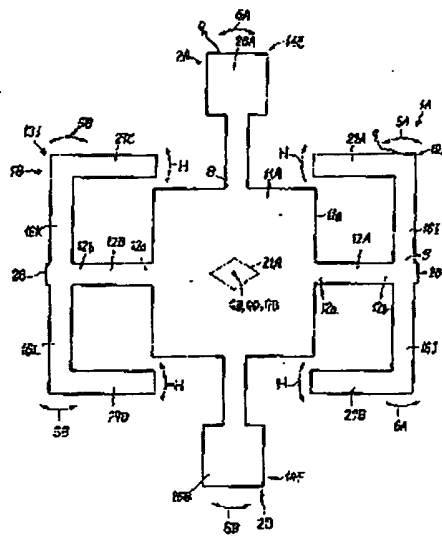
【図19】



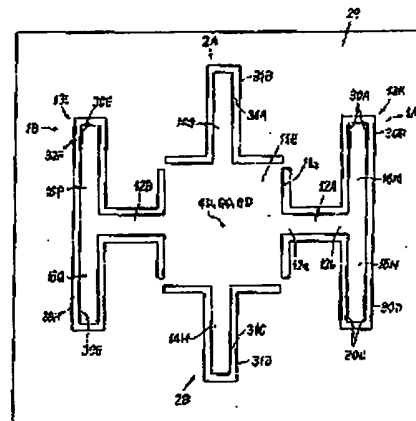
(24)

特開平11-281372

【図18】



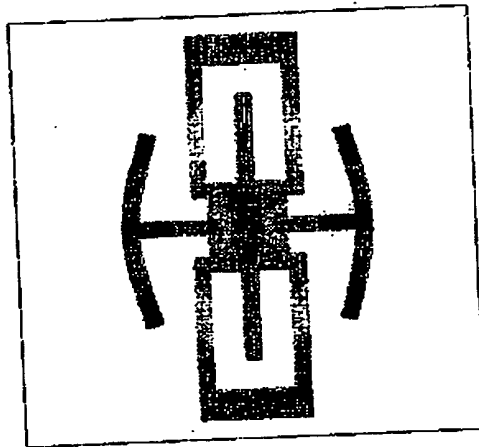
【図20】



(25)

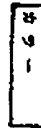
特開平11-281372

【図22】

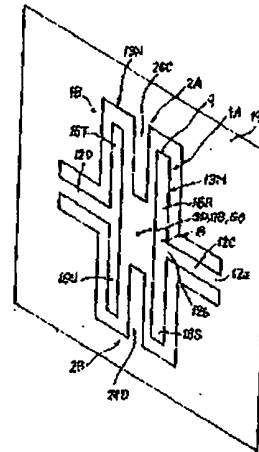


最薄モード  
最大板厚位置と  
との比率

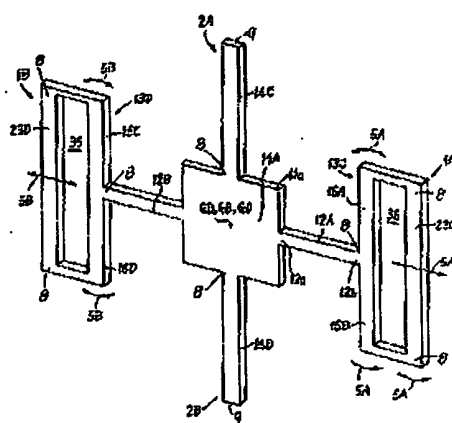
- 1/100未満
- 2/100未満
- 1/100未満
- 2/100未満
- 1/10未満
- 2/10未満
- 3/10未満
- 1/1以下



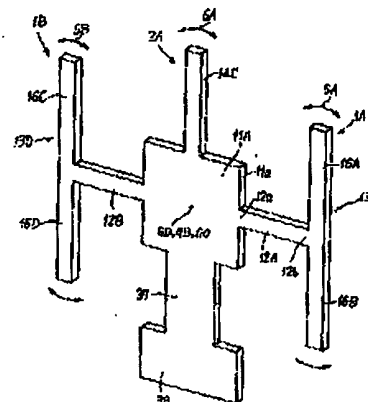
【図28】



【図25】



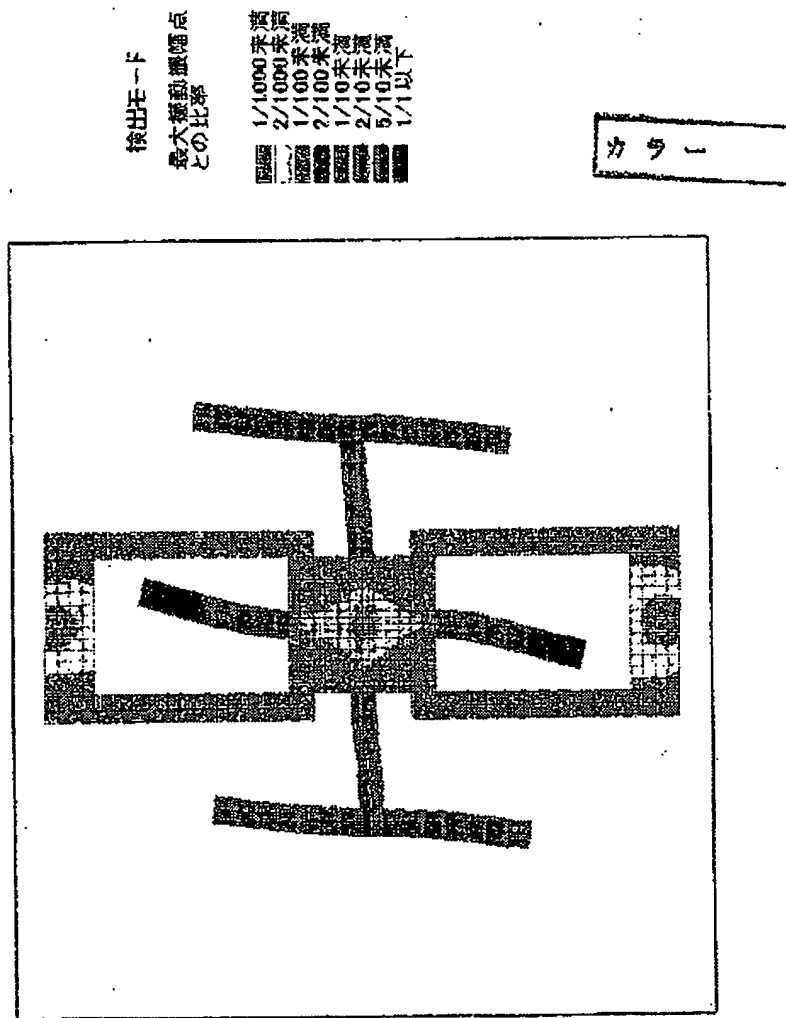
【図26】



(26)

特開平11-281372

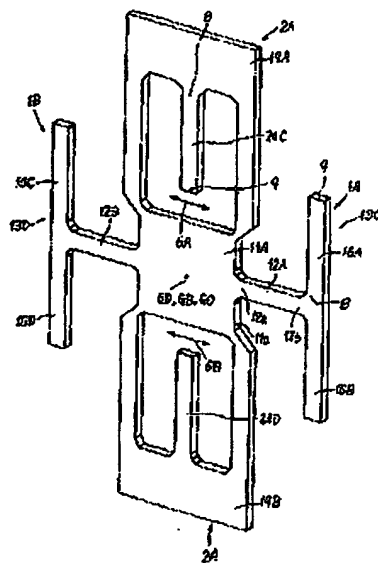
【図23】



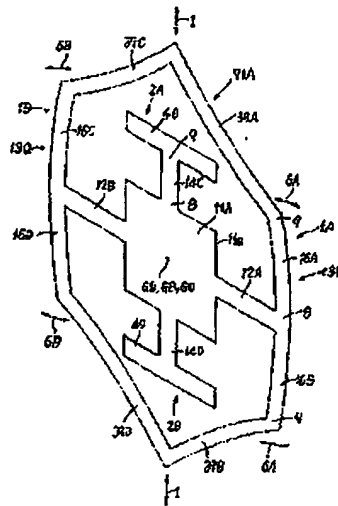
(27)

特開平11-281372

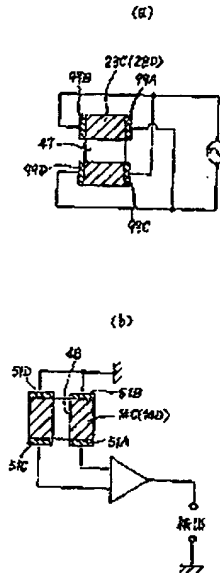
【図27】



【図29】



【図41】

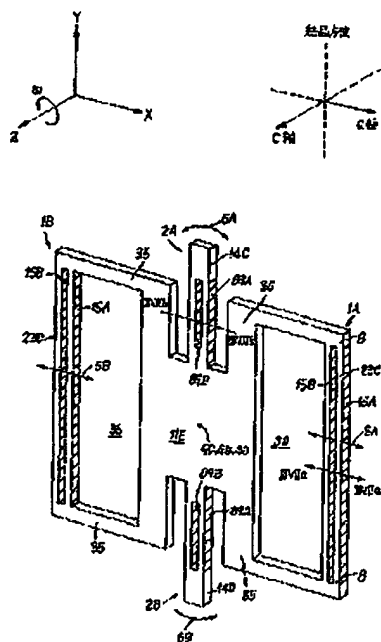




(29)

特開平11-281372

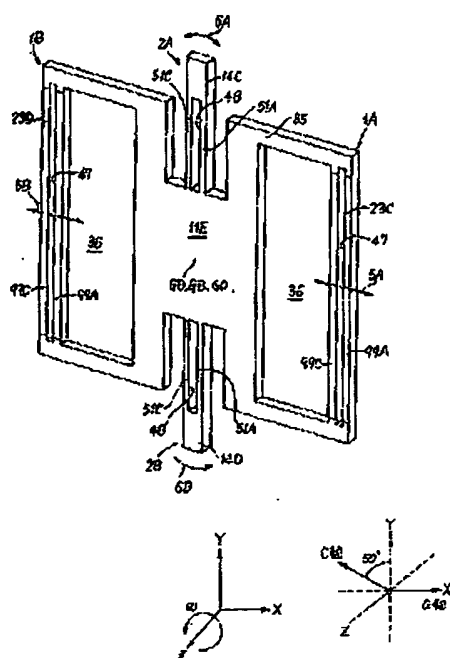
【図36】



(30)

特開平11-281372

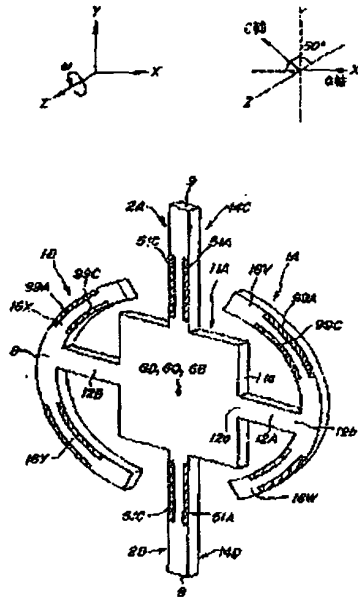
【図40】



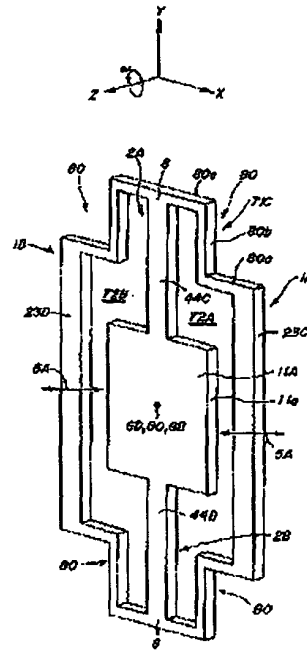
(31)

特開平11-281372

【図44】



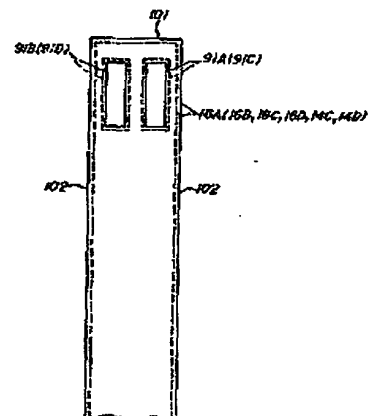
【図46】



【図48】



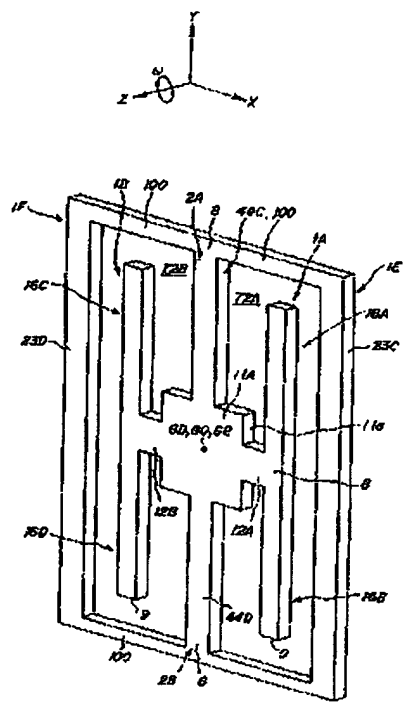
【図51】



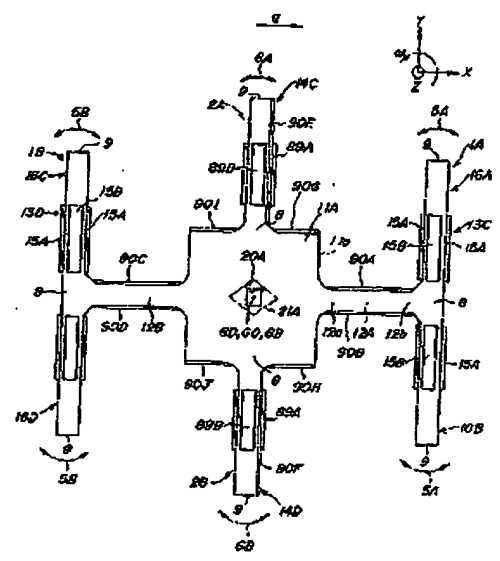
(32)

特開平11-281372

【図47】



【図49】



【図50】

